



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR  
Engenharia

# **Estudo do Potencial de Recarga de Aquíferos com Águas Residuais Tratadas utilizando Sistemas de Informação Geográfica**

**Flora Cristina Meireles Silva**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia Civil - Ramo Geotecnia e Ambiente**  
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor António João Carvalho de Albuquerque  
Co-orientador: Prof. Doutor Victor Manuel Pissarra Cavaleiro

**Covilhã, Junho de 2011**

*Aos meus pais António e Rosa e  
irmã Diana*

## Agradecimentos

A realização da presente dissertação de mestrado foi possível com um conjunto de apoios institucionais e pessoais que merecem ser reconhecidos.

Os apoios institucionais devem-se à Universidade da Beira Interior (UBI), em particular ao Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura (DECA) e ao Instituto Politécnico de Bragança (IPB), em particular à Escola Superior de Tecnologia e de Gestão (ESTiG). À Universidade da Beira Interior, devo a minha formação base em Engenharia Civil, e agradeço o acolhimento para realização deste trabalho ao qual me propus. À Escola Superior de Tecnologia e de Gestão de Bragança devo a oportunidade que me deram para desenvolver a minha actividade académica e científica, onde leccionar e investigar constituem para mim um enorme motivo de orgulho e satisfação.

No que refere aos apoios pessoais, o meu profundo agradecimento ao Prof. Doutor António Albuquerque, na qualidade de Orientador científico do presente estudo. O Prof. Albuquerque, como Orientador, foi insuperável na condução e acompanhamento deste trabalho. Agradeço profundamente a disponibilidade permanente, o incentivo constante e orientação fundamentais. Um especial agradecimento ao Prof. Doutor Victor Cavaleiro, na qualidade de Co-orientador científico desta dissertação, pela cedência de dados fundamentais para a elaboração da parte prática deste estudo. Para mim foi motivo de orgulho poder ter sido orientada por estes dois Professores, os quais me transmitiram contributos valiosos nas suas áreas de conhecimento científico.

Ao Mestre José Riscado (DECA-UBI), pelo apoio na realização da cartografia presente neste trabalho. Agradeço-lhe os conhecimentos que me transmitiu associados aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), nomeadamente manusear as ferramentas de software de SIG (ArcGIS - ArcView).

Às Águas do Zêzere e Côa, por todo o apoio e dados fornecidos relativos à ETAR de Vila Fernando, em especial ao Dr. Renato Craveiro que foi incansável no apoio prestado durante o período de estudo.

À Mestre Lígia Amado e ao Prof. Doutor Pedro Rodrigues (IPG) pelos dados de qualidade fornecidos relativos à monitorização da ETAR de Vila Fernando, em especial dados de parâmetros inorgânicos, metais pesados e microbiológicos.

À Fundação para Ciência e Tecnologia, através do projecto PTDC/AMB/73081/2006, por ter permitido o financiamento que permitiu obter dados para este trabalho.

Aos meus queridos pais, António e Rosa, por me incentivarem e ajudarem sempre e acima de tudo por me terem feito perceber que só seria feliz se percorresse este caminho. Agradeço a companhia nas viagens que fizemos para a Covilhã no decorrer deste percurso.

À minha única, e especial, irmã Diana, pelas palavras de incentivo e com quem tanto tenho aprendido.

Ao PP, pelo seu amor, apoio e tolerância, por me ter feito acreditar que chegaria a bom porto, por me reconfortar nos momentos menos fáceis da minha vida e por me ajudar e estar sempre comigo.

## Resumo

Na região da Beira Interior, algumas origens de água não apresentam características compatíveis com algumas utilizações, devido a fenómenos de poluição (descarga de efluentes) ou por se encontrem sobre-exploradas (nomeadamente os aquíferos). Contudo, as necessidades de água tenderão a crescer nesta região para satisfazer as exigências de actividades sócio-económicas (regadio da Cova da Beira, rega de campos de golfe, exploração de estâncias termais e abastecimento público e industrial), o que implicará a procura de recursos alternativos de água. Neste contexto, as águas residuais tratadas devem ser encaradas como uma origem de água a aproveitar e não como um resíduo a eliminar.

Após uma campanha de monitorização de dois anos na ETAR de Vila Fernando (Guarda), as características do efluente tratado sugerem que poderia ser utilizado na recarga de aquíferos, não só porque se trata de uma zona que recorre essencialmente a origens de água subterrânea, como porque outras utilizações não parecem relevantes e exigiriam uma afinação do efluente, com acréscimo de custos de investimento.

A partir de seis cartas temáticas e de critérios ambientais, técnicos e económicos, seleccionou-se uma área de estudo de 6687,1 ha, e, após manipulação de informação complexa com recurso a SIG, com base na sobreposição de áreas de exclusão e inclusão de cada uma das cartas temáticas e utilizando operações algébricas de mapas (análise multicritério), obteve-se uma Carta de Aptidão com uma área favorável para infiltração de 6,4 ha.

Uma área de 1300 m<sup>2</sup> seria suficiente para construir quatro bacias de infiltração (18x18 m cada), que funcionariam em ciclos alternados de enchimento-infiltração-limpeza-enchimento.

## Palavras-chave

Águas residuais tratadas; Recarga de aquíferos; Reutilização; SIG; Análise multicritério.

## Abstract

In the region of the Beira Interior some sources of water do not present characteristics suitable for some uses due to pollution (namely associated to discharge of not well treated effluents) or are over-exploited (namely aquifers). However, the water demand will grow in this region to meet socio-economic activities under development (the Cova da Beira irrigation plan, irrigation of golf courses and green areas, spas and distribution for human and industrial consumption), which will lead to the search of alternative sources of water. In this context, the treated wastewater should be seen as a source of water to be used and not a waste to be eliminated.

After a monitoring campaign of two years in the wastewater treatment plant of Vila Fernando (Guarda), the characteristics of the final effluent suggest that it could be used for the recharge of aquifers, not only because it is an area that uses essentially groundwater sources, but because other uses seem to be not relevant and would require a polishing treatment for the effluent, which would higher the costs of investment.

From six thematic maps and environmental, technical and economic criteria, it was selected a study area of 6687,1 ha, and, after manipulation of complex information using GIS, based on the overlapping areas of exclusion and inclusion in each thematic maps and using algebra of maps operations (multicriteria analysis), it was obtained a Suitable Map with a favorable area for infiltration of 6,4 ha.

An area of 1300 m<sup>2</sup> would be enough to set up four infiltration basins (18x18 m each), that would work in alternating cycles of filling-infiltration-cleaning-filling.

## Keywords

Treated wastewater; Aquifer recharge; Reuse; GIS; Mulcriteria analysis.

# Índice

|                                                                                                  |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Dedicatória                                                                                      | ii        |
| Agradecimentos                                                                                   | iii       |
| Resumo                                                                                           | v         |
| Abstract                                                                                         | vi        |
| Índice                                                                                           | vii       |
| Lista de Figuras                                                                                 | ix        |
| Lista de Tabelas                                                                                 | x         |
| Lista de Nomenclatura                                                                            | xi        |
| <br>                                                                                             |           |
| <b>Capítulo 1 Introdução</b>                                                                     | <b>1</b>  |
| 1.1 Enquadramento e Justificação do Tema                                                         | 1         |
| 1.2 Objectivos                                                                                   | 2         |
| 1.3 Descrição do Plano de Trabalhos                                                              | 3         |
| 1.4 Estrutura da Dissertação                                                                     | 4         |
| <b>Capítulo 2 Reutilização de Águas Residuais Tratadas</b>                                       | <b>5</b>  |
| 2.1 Necessidade da prática de reutilização de águas residuais tratadas                           | 5         |
| 2.2 A reutilização como estratégia de conservação de recursos hídricos                           | 7         |
| 2.3 Características das águas residuais relevantes em reutilização                               | 8         |
| 2.4 Aplicações da reutilização de águas residuais tratadas                                       | 9         |
| 2.4.1 Rega agrícola                                                                              | 12        |
| 2.4.2 Rega paisagística                                                                          | 13        |
| 2.4.3 Indústria                                                                                  | 13        |
| 2.4.4 Usos ambientais e recreativos                                                              | 14        |
| 2.4.5 Usos urbanos não potáveis                                                                  | 14        |
| 2.4.6 Recarga de aquíferos                                                                       | 15        |
| 2.5 Legislação comunitária e nacional com incidência na reutilização de águas residuais tratadas | 26        |
| <b>Capítulo 3 Sistemas de Informação Geográfica</b>                                              | <b>29</b> |
| 3.1 Conceito de SIG                                                                              | 29        |
| 3.2 Componentes e Aplicações de um SIG                                                           | 30        |
| 3.3 Tipos de dados geográficos                                                                   | 32        |
| 3.4 Fontes, introdução, manuseamento e georreferenciação de dados geográficos                    | 36        |
| 3.5 Modelos de localização                                                                       | 38        |

|                                                                 |           |
|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Capítulo 4 Material e Métodos</b>                            | <b>42</b> |
| 4.1 Identificação e caracterização da área de estudo            | 42        |
| 4.1.1 Caracterização geológica e geomorfológica                 | 43        |
| 4.1.2 Caracterização hidrogeológica                             | 45        |
| 4.1.3 Caracterização sumária da ETAR de Vila Fernando           | 46        |
| 4.1.4 Águas residuais tratadas para reutilização                | 46        |
| 4.2 Identificação de potenciais áreas para recarga de aquíferos | 47        |
| <b>Capítulo 5 Resultados e Discussão</b>                        | <b>50</b> |
| 5.1 Área de estudo                                              | 50        |
| 5.2 Análise da água residual tratada para reutilização          | 50        |
| 5.3 Potenciais áreas para recarga de aquíferos                  | 52        |
| <b>Capítulo 6 Conclusões e Proposta para Trabalhos Futuros</b>  | <b>65</b> |
| 6.1 Conclusões                                                  | 65        |
| 6.2 Proposta para Trabalhos Futuros                             | 66        |
| <b>Referências Bibliográficas</b>                               | <b>67</b> |

## Lista de Figuras

|                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 2.1 - Ciclo de reutilização da água                                                                                              | 7  |
| Figura 2.2 - Aplicações da Reutilização de ART                                                                                          | 11 |
| Figura 2.3 - Métodos de RAQ                                                                                                             | 19 |
| Figura 2.4 - Componentes de um sistema de recarga                                                                                       | 19 |
| Figura 2.5 - Infiltração rápida                                                                                                         | 22 |
| Figura 2.6 - Ilustração esquemática do processo de infiltração e fotografia aérea do Complexo de recarga artificial de Shafdan (Israel) | 24 |
| Figura 3.1 - Componentes de um SIG                                                                                                      | 31 |
| Figura 3.2 - Formatos digitais para representar os dados geográficos                                                                    | 32 |
| Figura 3.3 - Principais estruturas vectoriais                                                                                           | 33 |
| Figura 3.4 - Estrutura raster                                                                                                           | 34 |
| Figura 3.5 - Operações de sobreposição de temas                                                                                         | 37 |
| Figura 3.6 - Exemplo de uma Carta de Aptidão para reutilização de lamas celulósicas (Bloco da Covilhã)                                  | 40 |
| Figura 4.1 - Localização da área de estudo, Vila Fernando, distrito da Guarda (Portugal)                                                | 42 |
| Figura 4.2 - Tipos de solos presentes na área de estudo (Instituto do Ambiente/UBI)                                                     | 44 |
| Figura 4.3 - Ocupação do solo presente na área de estudo (Instituto do Ambiente/UBI)                                                    | 45 |
| Figura 4.4 - Representação esquemática da ETAR de Vila Fernando                                                                         | 46 |
| Figura 5.1 - Localização da área de estudo                                                                                              | 50 |
| Figura 5.2 - Área de Matos reclassificada                                                                                               | 54 |
| Figura 5.3 - Área de Antrossolos reclassificada                                                                                         | 55 |
| Figura 5.4 - Áreas referentes à protecção das linhas de água, depósitos de água e poços                                                 | 56 |
| Figura 5.5 - Carta dos pontos de água reclassificada                                                                                    | 56 |
| Figura 5.6 - Carta de aglomerados urbanos reclassificada                                                                                | 57 |
| Figura 5.7 - Modelo Digital do Terreno da área de estudo                                                                                | 58 |
| Figura 5.8 - Carta de Declives reclassificada                                                                                           | 58 |
| Figura 5.9 - Carta da distância de 8Km desde a ETAR reclassificada                                                                      | 59 |
| Figura 5.10 - Fluxograma para as operações de análise espacial realizadas na elaboração da Carta de Aptidão                             | 61 |
| Figura 5.11 - Carta de Aptidão para identificação de potenciais locais para RAQ                                                         | 62 |
| Figura 5.12 - Local seleccionado para RAQ                                                                                               | 64 |

## Lista de Tabelas

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1.1 - Plano de Trabalhos                                                                                          | 3  |
| Tabela 2.1 - Características físicas, químicas e biológicas das águas residuais e suas origens                           | 9  |
| Tabela 2.2 - Marcos históricos da reutilização de ART em vários países do mundo                                          | 10 |
| Tabela 2.3 - Aplicações da reutilização de ART e factores condicionantes                                                 | 12 |
| Tabela 2.4 - Métodos de RAQ                                                                                              | 18 |
| Tabela 2.5 - Condições de utilização dos diferentes métodos de recarga                                                   | 20 |
| Tabela 2.6 - Descrição sumária de alguns casos de estudo abordados no projecto RECLAIMWATER                              | 25 |
| Tabela 2.7 - Legislação comunitária e nacional com incidência na RAQ com ART                                             | 27 |
| Tabela 3.1 - Aplicações de um SIG                                                                                        | 31 |
| Tabela 3.2 - Vantagens e desvantagens da estrutura vectorial                                                             | 34 |
| Tabela 3.3 - Vantagens e desvantagens da estrutura <i>raster</i>                                                         | 35 |
| Tabela 4.1 - Precipitação média (P), Evapotranspiração potencial (ETp) e défice na área de estudo no período 1965 - 1994 | 43 |
| Tabela 4.2 - Características da água termal das Termas do Cró                                                            | 45 |
| Tabela 5.1 - Características das águas residuais tratadas da ETAR de Vila Fernando (2008-2009)                           | 51 |
| Tabela 5.2 - Cartas temáticas e respectivos pesos atribuídos                                                             | 60 |
| Tabela 5.3 - Potenciais áreas em função de cada parâmetro                                                                | 62 |

# Lista de Nomenclatura

## Abreviaturas

|         |                                                                                                                       |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AdZC    | Águas do Zêzere e Côa                                                                                                 |
| ART     | Águas Residuais Tratadas                                                                                              |
| AU      | Aglomerados Urbanos                                                                                                   |
| D       | Declives                                                                                                              |
| DEC     | Departamento de Engenharia Civil                                                                                      |
| DECA    | Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura                                                                       |
| DETAR   | Distância da ETAR                                                                                                     |
| ETAR    | Estação de Tratamento de Águas Residuais                                                                              |
| EVAWET  | EVALuation of the hydrodynamic and environmental behaviour of constructed WETlands for wastewater treatment and reuse |
| FCT     | Fundação para a Ciência e Tecnologia                                                                                  |
| INAG    | Instituto da Água                                                                                                     |
| INE     | Instituto Nacional de Estatística                                                                                     |
| IPG     | Instituto Politécnico da Guarda                                                                                       |
| IPL     | Instituto Politécnico de Lisboa                                                                                       |
| ISEL    | Instituto Superior de Engenharia de Lisboa                                                                            |
| LSA     | Laboratório de Saneamento Ambiental                                                                                   |
| MAOTDR  | Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional                                    |
| MDT     | Modelo Digital do Terreno                                                                                             |
| OS      | Ocupação do Solo                                                                                                      |
| PA      | Pontos de Água                                                                                                        |
| PEAASAR | Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais                                         |
| RAQ     | Recarga de Aquíferos                                                                                                  |
| SAT     | Soil Aquifer Treatment                                                                                                |
| SIG     | Sistemas de Informação Geográfica                                                                                     |
| SNIRH   | Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos                                                                   |
| SRART   | Sistema de Reutilização de Águas Residuais Tratadas                                                                   |
| TS      | Tipo de Solo                                                                                                          |
| UBI     | Universidade da Beira Interior                                                                                        |

## Símbolos

|                   |                                                                                                                                                       |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| B                 | Boro ( $ML^{-3}$ )                                                                                                                                    |
| Ca                | Cálcio ( $ML^{-3}$ )                                                                                                                                  |
| $CBO_5$           | Carência bioquímica de oxigénio a cinco dias ( $ML^{-3}$ )                                                                                            |
| Cd                | Cádmio ( $ML^{-3}$ )                                                                                                                                  |
| CE                | Condutividade eléctrica                                                                                                                               |
| CF                | Coliformes fecais                                                                                                                                     |
| CH                | Carga hidráulica ( $LT^{-1}$ )                                                                                                                        |
| Cl                | Cloro ( $ML^{-3}$ )                                                                                                                                   |
| Co                | Cobalto ( $ML^{-3}$ )                                                                                                                                 |
| CQO               | Carência química de oxigénio ( $ML^{-3}$ )                                                                                                            |
| Cr                | Crómio ( $ML^{-3}$ )                                                                                                                                  |
| CT                | Coliformes totais                                                                                                                                     |
| K                 | Potássio ( $ML^{-3}$ )                                                                                                                                |
| Mg                | Magnésio ( $ML^{-3}$ )                                                                                                                                |
| Na                | Sódio ( $ML^{-3}$ )                                                                                                                                   |
| Ni                | Níquel ( $ML^{-3}$ )                                                                                                                                  |
| $N-NH_4$          | Azoto amoniacal ( $ML^{-3}$ )                                                                                                                         |
| $N-NO_2$          | Azoto nitroso ( $ML^{-3}$ )                                                                                                                           |
| $N-NO_3$          | Azoto nítrico ( $ML^{-3}$ )                                                                                                                           |
| NT                | Azoto total ( $ML^{-3}$ )                                                                                                                             |
| OH                | Ovos de Helminta                                                                                                                                      |
| Pb                | Chumbo ( $ML^{-3}$ )                                                                                                                                  |
| PT                | Fósforo total ( $ML^{-3}$ )                                                                                                                           |
| Q                 | Caudal ( $L^3T^{-1}$ )                                                                                                                                |
| SST               | Sólidos suspensos totais ( $ML^{-3}$ )                                                                                                                |
| U                 | Velocidade de infiltração ou taxa de infiltração ( $LT^{-1}$ )                                                                                        |
| Zn                | Zinco ( $ML^{-3}$ )                                                                                                                                   |
| K                 | Carta temática                                                                                                                                        |
| tm                | Número de cartas temáticas                                                                                                                            |
| W                 | Vector dos pesos associados a cada carta temática                                                                                                     |
| $(M_{ij}^k)_{mn}$ | Vector de dados das células de cada carta temática (linha $i$ em cada coluna $j$ ), $m$ e $n$ são as dimensões da carta temática em formato matricial |
| $(S_{ij})_{mn}$   | Vector de dados das células da Carta de Aptidão (linha $i$ em cada coluna $j$ ), $m$ e $n$ são as dimensões da Carta de Aptidão                       |

# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1. Enquadramento e Justificação do Tema

Os recursos hídricos não são ilimitados, sendo por isso fundamental protegê-los e conservá-los. Basta referir que “a água é o recurso natural mais valioso do planeta, pelo que a sua conservação constitui um dos mais importantes pilares do desenvolvimento sustentável” (Marecos do Monte e Albuquerque, 2010). As alterações climáticas têm influenciado a variabilidade do regime hidrológico em todo o Mundo e se a este facto se adicionar a forte pressão antropogénica nos recursos hídricos, constata-se que existe, cada vez mais, a necessidade de alteração do padrão considerado normal, ou convencional, de gestão e obtenção de recursos hídricos (Oliveira *et al.*, 2010).

Para Marecos do Monte e Albuquerque (2010) há a necessidade de uma gestão sustentável dos recursos hídricos, na qual se inclui a conservação da água, e onde a reutilização de águas residuais representa uma componente estratégica importante. Para além da reutilização da água ser vista como uma estratégia de conservação de água em regiões de escassez de recursos hídricos, permite, ainda, a preservação da qualidade da água de meios receptores, reduzindo o impacto ambiental associado à descarga de efluentes.

A transposição da Directiva 2000/60/CE, do Parlamento e do Conselho, de 23 de Outubro (Directiva Quadro da Água - DQA) para a ordem jurídica nacional, através da Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro (Lei da Água) e pelo Decreto-Lei n.º 77/2006, de 30 de Março, constitui para Portugal um importante passo para a gestão e protecção dos recursos hídricos. A reutilização de águas residuais tratadas (ART) passa a ser um eixo central na gestão integrada dos recursos hídricos, nomeadamente para usos como a rega agrícola, rega paisagística, indústria, recarga de aquíferos (RAQ), usos recreativos e ambientais e ainda usos urbanos não potáveis.

Os recursos hídricos subterrâneos constituem, hoje em dia, uma importante fonte de abastecimento urbano industrial e agrícola, podendo, no entanto, ser afectados por problemas associados à sua sobre-exploração, o que está relacionado com os volumes de extracção, geralmente elevados, que não sendo compensados pela RAQ, provocam um rebaixamento acentuado da piezometria a nível local e regional (Diamantino, 2009).

Neste contexto, uma das técnicas de gestão sustentável de protecção de aquíferos e uma forma de aumentar a disponibilidade de água subterrânea, já aplicada a nível internacional, consiste na recarga artificial, que se pode definir como a introdução de água de forma artificial para o interior de um aquífero, e que, de acordo com Marecos do Monte e Albuquerque (2010), pode ser utilizada com um ou mais dos seguintes objectivos:

- *Impedir ou atenuar o rebaixamento do nível freático em zonas de escassez de águas subterrâneas ou sujeitas a elevada pressão de extracção;*
- *proteger os aquíferos nas zonas costeiras contra a intrusão salina;*
- *armazenamento de água no solo, nomeadamente a proveniente da precipitação atmosférica e/ou de ART.*

O aumento da procura de água na região da Beira Interior, particularmente nas áreas áridas e semi-áridas, revela a importância de se preservar ou reforçar as origens de água subterrânea. Muitos dos aquíferos da região estão sobre-explorados devido ao aumento da necessidade de água para rega agrícola, paisagística e estâncias termais. Uma das formas que poderia ajudar a manter as reservas de água no solo seria, como sugere Bower (2002), a recarga artificial de aquíferos com ART, que pode ser feita por infiltração no solo ou por injeção directa.

A definição de uma metodologia para reutilização de ART na RAQ requer a recolha, tratamento e análise de informação complexa (por exemplo: tipo e ocupação do solo, características do aquífero, restrições legais e ambientais, características das ART, acessibilidades, entre outros) e de ferramentas para uma análise multicritério. Desde modo, o uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) permite georreferenciar, armazenar, tratar e manipular a referida informação, possibilitando a criação de áreas de exclusão e de potencial aplicação. Os SIG têm sido usados na ciência ambiental para avaliar a vulnerabilidade das águas subterrâneas à poluição por nitratos (Lake *et al.*, 2003), na criação de cartas de aptidão para aplicação de lamas celulósicas na agricultura (Ribeiro, 2008; Ribeiro *et al.*, 2010a; Ribeiro *et al.*, 2010b), para identificar a localização de estações de tratamento de águas residuais (ETAR) (Gemitzia *et al.*, 2007) e na RAQ (Kallali *et al.*, 2007).

## 1.2. Objectivos

O principal objectivo deste estudo centra-se na identificação de potenciais locais para a infiltração de ART para a RAQ, utilizando uma análise multicritério baseada em SIG. Pretende-se mostrar que as ART provenientes de pequenas ETAR (neste trabalho foi seleccionada a ETAR de Vila Fernando, uma área rural no distrito da Guarda) podem ser utilizadas para RAQ em áreas com escassez de água, reduzindo a descarga de cargas poluentes no ambiente e beneficiando actividades económicas e turísticas.

### 1.3. Descrição do Plano de Trabalhos

Para a concretização dos objectivos propostos elaborou-se um Plano de Trabalhos que incluiu quatro fases, apresentadas na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 - Plano de trabalhos

| Fases | Tipo de Trabalho      | Descrição                                                                     | Período de Tempo                  |
|-------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| I     | Recolha de dados      | Definição e caracterização da área de estudo                                  | Outubro de 2010 a Janeiro de 2011 |
| II    | Recolha de dados      | Caracterização da ETAR de Vila Fernando e recolha de amostras de ART          | Fevereiro a Março de 2011         |
| III   | Trabalho experimental | Identificação de áreas com potencial para reutilização de ART, utilizando SIG | Março a Maio de 2011              |
| IV    | Trabalho experimental | Seleção de um local para RAQ com ART                                          | Maio a Junho de 2011              |

Este estudo surgiu no seguimento dos resultados obtidos no projecto EVAWET (Avaliação do funcionamento hidrodinâmico e ambiental de leitos de macrófitas para tratamento e reutilização de águas residuais, PTDC/AMB/73081/2006), financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), desenvolvido pelo Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA) do Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura (DECA) da Universidade da Beira Interior (UBI), em parceria com o Departamento de Engenharia Civil (DEC) do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL), o Instituto Politécnico da Lisboa (IPL), o Departamento de Engenharia Civil (DEC) do Instituto Politécnico da Guarda (IPG) e da Águas do Zêzere e Côa (AdZC).

Na primeira fase definiu-se a área de estudo, uma área rural localizada na região da Beira Interior, Vila Fernando, no distrito da Guarda, e procedeu-se à sua caracterização no que refere a aspectos geológicos, geomorfológicos e hidrogeológicos. A segunda fase incluiu a caracterização sumária da ETAR de Vila Fernando e das ART provenientes dessa ETAR, permitindo analisar se seriam compatíveis com a aplicação para RAQ. Numa terceira fase procedeu-se à identificação de áreas com potencial para RAQ tendo em atenção restrições ambientais, técnicas e económicas e a fonte de ART a utilizar (ETAR de Vila Fernando), recorrendo a uma análise multicritério baseada em SIG. Na quarta fase, procedeu-se à selecção de um local para a RAQ que permitirá proceder à infiltração de ART.

## 1.4. Estrutura da Dissertação

A estrutura principal da dissertação encontra-se dividida em duas partes.

Na primeira parte, de enquadramento geral do tema de investigação, e no Capítulo 2, realizou-se uma revisão do estado da arte sobre reutilização de ART, abordando-se a necessidade da prática de reutilização de ART, a reutilização como estratégia de conservação dos recursos hídricos, as características das águas residuais relevantes em reutilização e os principais marcos históricos da reutilização de ART em vários países do mundo. Descrevem-se as principais aplicações da reutilização de ART, com enfoque na aplicação para RAQ, visto ser a aplicação objecto de estudo. Apresenta-se o conceito de RAQ, aplicações e métodos mais praticados. Por último, apresenta-se a principal legislação comunitária e nacional com incidência na reutilização de ART e mais especificamente na RAQ.

No Capítulo 3, apresenta-se a definição de SIG, mencionam-se as principais componentes e aplicações de um SIG, tipos de dados geográficos e fontes, introdução, manuseamento e georreferenciação de dados geográficos. Referem-se algumas operações de um SIG no âmbito da análise espacial, abordam-se os modelos de localização e exemplifica-se ainda a aplicação de SIG em alguns Projectos.

Na segunda parte, dedicada ao caso de estudo, desenvolve-se a parte experimental. No Capítulo 4, identifica-se e caracteriza-se a área de estudo, no que refere a aspectos geológicos, geomorfológicos e hidrogeológicos, bem como se procede a uma caracterização sumária da ETAR de Vila Fernando e das ART para reutilização. Procede-se à identificação de áreas com potencial para RAQ de acordo com restrições ambientais, técnicas e económicas, e a fonte de ART a reutilizar (ETAR de Vila Fernando).

No Capítulo 5, apresentam-se os resultados e discussão, isto é, mostra-se a área de estudo seleccionada recorrendo a SIG, a análise das ART para reutilização, as potenciais áreas para RAQ e toda a cartografia inerente, e por fim apresenta-se o local seleccionado para infiltração de ART.

## Capítulo 2

# Reutilização de Águas Residuais Tratadas

### 2.1. Necessidade da prática de reutilização de águas residuais tratadas

Os recursos hídricos de uma região dependem do seu clima (precipitação atmosférica, temperatura e evapotranspiração), mas também da afluência de água proveniente de bacias hidrográficas, que podem ser partilhadas com outros países. Existem determinadas situações que podem gerar sérios desequilíbrios entre necessidades e disponibilidades de água, que podem alcançar níveis graves em anos de uma anormal escassez de precipitação. De referir que a disponibilidade de recursos hídricos varia no tempo e no espaço e as necessidades de água para as actividades humanas também não são constantes. Estes desequilíbrios quantitativos entre a procura e a disponibilidade de água, são acentuados pela degradação da qualidade das águas naturais, decorrente de insuficiente controlo da poluição antropogénica, o que introduz limitações ao aproveitamento de alguns recursos naturais (Marecos do Monte e Albuquerque, 2010).

A escassez de água para consumo humano é considerada um problema que tem vindo a aumentar em todo o Mundo, referindo-se como origem da escassez hídrica, a sobre-exploração dos recursos hídricos e as recorrentes secas verificadas nos últimos anos, situação que resulta em graves consequências ambientais, sociais e económicas (Santos, 2008). Em conformidade com o referido, têm vindo a ser estudadas, um pouco por todo o Mundo, origens de água alternativas, sobretudo através da reutilização de ART. A crescente prática de reutilização de águas residuais tem vindo a ser motivada essencialmente pela escassez de recursos hídricos (decorrente de uma situação natural, como por exemplo o clima da região, ou como consequência do crescimento demográfico e do desenvolvimento sócio-económico) e pela necessidade de protecção dos meios hídricos receptores dos efluentes de ETAR. Assim, é necessário assegurar uma gestão sustentável dos recursos hídricos, na qual se inclui a conservação da água e de que a reutilização constitui uma componente estratégica muito importante.

Nestas condições, as principais causas que motivam a reutilização de água são (US EPA, 1992 *in* Santos, 2008):

- *O aumento da procura de água de modo a sustentar, quer o crescimento da população, quer o crescimento industrial. Este é o factor mais evidente nos países áridos, ou nas regiões em vias de desenvolvimento ou países em transição, sem problemas de escassez de água;*
- *a escassez de água e secas, principalmente em regiões áridas e semi-áridas. Neste caso, a recuperação de água é vital e é uma medida de prevenção contra a seca, assegurando as actividades económicas e agrícolas;*
- *a protecção ambiental em combinação com a necessidade de gestão das águas residuais representam um factor emergente na generalidade dos países industrializados. Em zonas onde as leis de descarga de efluentes são mais restritas, como na Europa, EUA, Austrália e na África do Sul, a utilização de águas residuais surge como uma alternativa competitiva para tratamentos mais avançados, quer do ponto de vista ambiental como económico;*
- *os factores sócio-económicos tais como novos regulamentos, as preocupações a nível da saúde, as políticas públicas e os incentivos económicos têm vindo a revelar-se bastante importantes para a implementação de projectos de reutilização de água. Por exemplo, o aumento do custo da água para consumo público nos países desenvolvidos (desde que garanta o princípio do valor social da água) pode vir a promover a implementação da utilização de águas residuais;*
- *a protecção da saúde pública é o factor mais importante nos países em vias de desenvolvimento, onde o difícil acesso a fontes de água para consumo público nas zonas rurais juntamente com o acesso facilitado ao mercado da água nas áreas urbanas e periferia, leva a que sejam utilizadas na agricultura águas residuais não tratadas. A protecção da saúde pública e a mitigação dos riscos ambientais são as componentes-chave para qualquer programa de reutilização de águas, sob estas condições.*

Marecos do Monte e Albuquerque (2010) mencionam que Portugal é um país com abundantes recursos hídricos, em que mais de 40% desses recursos provêm de Espanha, evidenciando a importância da gestão das bacias hidrográficas dos rios Minho, Douro, Tejo e Guadiana. Porém, a utilização das disponibilidades hídricas nacionais é muito dificultada, tanto pela irregularidade da sua ocorrência no espaço e no tempo (por exemplo o balanço hídrico é deficitário a sul da zona do Médio Tejo), como pelas características demográficas e a pressão de algumas actividades económicas importantes (p.e., a agricultura e o turismo).

Do ponto de vista quantitativo, Portugal dispõe de abundantes recursos hídricos, cuja distribuição territorial e temporal condiciona o seu aproveitamento a um dispêndio de consideráveis investimentos em infraestruturas hidráulicas, que permitam o seu armazenamento, captação e transporte de zonas com excesso para zonas mais carenciadas. Em termos qualitativos, também existem limitações ao aproveitamento de alguns recursos hídricos disponíveis, pelo facto da qualidade da água não apresentar características compatíveis com algumas utilizações (Marecos do Monte, 2005).

Portugal dispõe de uma significativa taxa de cobertura com serviço de tratamento de águas residuais urbanas, o que representa a produção de ART ao nível do tratamento secundário e terciário. De acordo com o último Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais (INAG, 2009), em 2008, a percentagem da população servida por

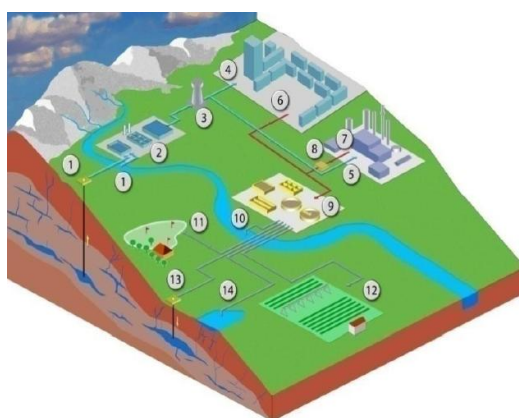
sistemas públicos de drenagem era de 80%, o que representa um aumento significativo do registado em 2001, que era de apenas 68% (INAG, 2002). No entanto, aquele valor está, ainda, longe da meta definida no Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais (PEAASAR II), para o período 2007-2013, que aponta para uma cobertura de 90% da população servida por sistemas de drenagem e tratamento de águas residuais (MAOTDR, 2007).

Actualmente, estima-se que o volume de ART em ETAR ascende a 500 milhões de m<sup>3</sup> anuais, podendo este volume constituir uma origem alternativa para novas utilizações (Marecos do Monte e Albuquerque, 2010), quer em utilização directa como após um tratamento complementar.

## 2.2. A reutilização como estratégia de conservação dos recursos hídricos

De acordo com a Directiva nº 91/271/CEE (tratamento de água residuais urbanas), *as águas residuais urbanas são águas residuais domésticas ou a mistura destas com águas residuais industriais e pluviais colectadas para a rede de drenagem pública*. As águas residuais urbanas resultam, portanto, da utilização de água que foi captada e tratada para assegurar o abastecimento de água potável às populações e às actividades económicas ligadas ao comércio e à indústria.

A água residual, após tratamento, normalmente, retorna ao meio natural, através da sua descarga em meios superficiais ou no solo, como se apresenta na Figura 2.1.



- LEGENDA: CICLO URBANO DA ÁGUA:** 1- Captação de água subterrânea ou superficial; 2- ETAR;  
 3- Reservatório; 4- Abastecimento urbano; 5- Abastecimento industrial; 6- Águas residuais urbanas;  
 7- Águas residuais industriais; 8- Pré-tratamento; 9- ETAR; 10- Descarga no meio receptor
- REUTILIZAÇÃO DE ART:** 11- Rega paisagística; 12- Rega agrícola;  
 13- Recarga de aquíferos em furo de injeção directa; 14- Recarga de aquíferos em bacias de infiltração.

**Figura 2.1** - Ciclo de reutilização da água (adaptada de Marecos do Monte e Albuquerque, 2010)

Assim, a reutilização da água como estratégia de combate à escassez de recursos hídricos, pressupõe uma reutilização planeada, em que as águas residuais são tratadas e utilizadas para uma aplicação em que representa um benefício sócio-económico. Ao recuperar as ART para uma posterior utilização, atingem-se dois objectivos ambientais:

- O efluente tratado não é descarregado num meio receptor, reduzindo-se, desta forma, impactes ambientais associados à carga poluente residual;
- o efluente tratado pode ser utilizado como uma origem de água para diferentes usos (rega agrícola, lavagem de espaços públicos recarga de aquíferos, por exemplo).

### 2.3. Características das águas residuais relevantes em reutilização

As águas residuais urbanas podem conter substâncias orgânicas e inorgânicas dissolvidas e suspensas na água, destacando-se (Marecos do Monte e Albuquerque, 2010):

- *Provenientes de água superficial ou subterrânea que constitui a origem de água bruta para produção de água para consumo humano;*
- *adicionadas e produzidas em reacções químicas e biológicas no decurso do processo de tratamento de água bruta para produção de água potável;*
- *adicionadas no decurso da utilização da água de abastecimento público para múltiplas actividades: uso doméstico, comercial, industrial e outras;*
- *carregadas pelas águas pluviais em sistemas de drenagem unitários;*
- *introduzidas com a água de infiltração nos colectores;*
- *produzidas por reacções químicas e biológicas durante o transporte no sistema de drenagem;*
- *adicionadas durante o transporte no sistema de drenagem para controlo de cheiro e de corrosão.*

No âmbito da reutilização de ART é fundamental conhecer o caudal disponível e as suas flutuações, assim como as características qualitativas das águas residuais não tratadas, uma vez que a referida informação permite prever:

- *A(s) aplicação(ões) da reutilização, que depende do volume de água disponível;*
- *a composição da água a reutilizar, que será em função das características das águas residuais brutas e do tipo de tratamento que receberam na ETAR ou a que deverão ainda ser submetidas para adequar à(s) utilização(ões) desejada(s).*

Na Tabela 2.1 apresentam-se os principais parâmetros indicadores das características físicas, químicas e biológicas das águas residuais urbanas, bem como as principais vias da sua origem.

Tabela 2.1 - Características físicas, químicas e biológicas das águas residuais e suas origens (Tchobanoglous *et al.*, 2003, Asano *et al.*, 2007)

| Características           | Origens                                                                                                     |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Físicas</b>            |                                                                                                             |
| Cor                       | Resíduos domésticos e industriais, decomposição da matéria orgânica                                         |
| Cheiro                    | Decomposição das substâncias dissolvidas e em suspensão                                                     |
| Temperatura               | Águas residuais domésticas e industriais                                                                    |
| Sólidos                   | Água de abastecimento, águas residuais domésticas e industriais, erosão do solo, infiltração nos colectores |
| <b>Químicas Orgânicas</b> |                                                                                                             |
| Carbo-hidratos            | Águas residuais domésticas, comerciais e industriais                                                        |
| Proteínas                 | Águas residuais domésticas, comerciais e industriais                                                        |
| Óleos e gorduras          | Águas residuais domésticas, comerciais e industriais                                                        |
| Detergentes               | Águas residuais domésticas, comerciais e industriais                                                        |
| Pesticidas                | Resíduos agrícolas                                                                                          |
| Fenóis                    | Águas residuais industriais                                                                                 |
| Compostos voláteis        | Águas residuais domésticas, comerciais e industriais                                                        |
| Poluentes prioritários    | Águas residuais domésticas, comerciais e industriais                                                        |
| <b>Inorgânicas</b>        |                                                                                                             |
| Alcalinidade              | Águas residuais domésticas, água potável, água subterrânea infiltrada                                       |
| Cloretos                  | Águas residuais domésticas, água potável, água subterrânea infiltrada                                       |
| Metais pesados            | Águas residuais industriais                                                                                 |
| Azoto                     | Águas residuais domésticas e escoamentos agro-pecuários                                                     |
| Fósforo                   | Águas residuais domésticas, comerciais e industriais; escoamentos naturais                                  |
| pH                        | Águas residuais domésticas, comerciais e industriais                                                        |
| Enxofre                   | Água de abastecimento, águas residuais domésticas, comerciais e industriais                                 |
| Poluentes prioritários    | Águas residuais domésticas, comerciais e industriais                                                        |
| <b>Gases</b>              |                                                                                                             |
| Ácido sulfídrico          | Decomposição de águas residuais domésticas                                                                  |
| Metano                    | Decomposição de águas residuais domésticas                                                                  |
| Oxigénio                  | Água do abastecimento público, infiltração de águas superficiais                                            |
| <b>Biológicas</b>         |                                                                                                             |
| Animais                   | Cursos de água e ETAR                                                                                       |
| Plantas                   | Cursos de água e ETAR                                                                                       |
| Bactérias                 | Águas residuais domésticas, infiltração de águas superficiais, ETAR                                         |
| Vírus                     | Águas residuais domésticas                                                                                  |

## 2.4. Aplicações da reutilização de águas residuais tratadas

### ➤ Marcos históricos da reutilização de ART em vários países do mundo

Segundo Angelakis *et al.* (1999) o maior reconhecimento desta prática ocorre em países como Israel, Tunísia, África do Sul, México e em alguns estados dos EUA, como é o caso da Califórnia, Flórida e Arizona. Durante o último século, a crescente necessidade de água potável resultou no desenvolvimento de vários sistemas para recuperação da água e formas de reutilização (Tabela 2.2).

**Tabela 2.2** - Marcos históricos da reutilização de ART em vários países do mundo (Asano, 2001; Malinowski, 2006; Asano *et al.*, 2007)

| Ano       | Local                                                                 | Exemplos de reutilização da água                                                           |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1890      | Cidade do México                                                      | Construção de canais de drenagem para rega agrícola                                        |
| 1912-1985 | Golden Gate Park, São Francisco, Califórnia, U.S.A.                   | Rega de relvados e abastecimento de lagos artificiais                                      |
| 1926      | Grand Canyon National Park, Arizona, U.S.A.                           | Descarga de autoclismos, rega de relvados, água de arrefecimento, alimentação de caldeiras |
| 1929      | Cidade de Pomona, Califórnia, U.S.A.                                  | Rega de relvados e jardins                                                                 |
| 1942      | Cidade de Baltimore, Maryland, U.S.A.                                 | Arrefecimento de metais no processo de aço na Bethlehem Steel Company                      |
| 1960      | Cidade de Colorado Springs, Colorado, U.S.A.                          | Rega de campos de golfe, parques, cemitérios e auto-estradas                               |
| 1961      | Irvine Ranch Water District, Califórnia, U.S.A.                       | Rega urbana                                                                                |
| 1962      | County Sanitation Districts de Los Angeles County, Califórnia, U.S.A. | RAQ usando bacias de infiltração em Montebello Forebay                                     |
| 1962      | La Soukra, Tunísia                                                    | Rega de plantas críticas e redução da intrusão de água salina em aquíferos                 |
| 1968      | Cidade de Windhoek, Namíbia                                           | Reforço de água para abastecimento público                                                 |
| 1969      | Cidade de Wagga Wagga, Austrália                                      | Rega paisagística, de campos desportivos e cemitérios                                      |
| 1970      | Sappi Pulp e Paper Group, Enstra, África do Sul                       | Uso industrial                                                                             |
| 1976      | Orange County Water District, Califórnia, U.S.A.                      | RAQ por injeção directa                                                                    |
| 1977      | Dan Region Project, Tel-Aviv, Israel                                  | RAQ através de bacias                                                                      |
| 1977      | Cidade de St. Petersburg, Florida, U.S.A.                             | Rega de parques, campos de golfe e jardins escolares                                       |
| 1984      | Tokyo Metropolitan Government, Japão                                  | Descarga de autoclismos                                                                    |
| 1985      | Cidade de El Paso, Texas, U.S.A.                                      | RAQ por injeção directa no aquífero Hueco Bolson                                           |
| 1987      | Monterey Regional Water Pollution Control Agency, Califórnia, U.S.A.  | Rega agrícola                                                                              |
| 1989      | Shoalhaven Heads, Austrália                                           | Rega de jardins descarga de autoclismos                                                    |
| 1989      | Consorti de la Costa Brava, Girona, Espanha                           | Rega de campos de golfe                                                                    |

Um dos grandes domínios de aplicação da reutilização de águas residuais é a rega agrícola, que consome cerca de 65% dos recursos hídricos utilizados (Asano *et al.*, 2007), seguindo-se a rega paisagística (com destaque para a rega de campos de golfe, jardins e recintos desportivos), o abastecimento industrial, a RAQ, certos usos recreativos e ambientais (alimentação de lagos de recreio ou a preservação de *habitats* da vida selvagem) e usos urbanos que não obrigam à utilização de água potável (lavagem de ruas, a descarga de autoclismos, o combate a incêndios) (Figura 2.2).



Figura 2.2 - Aplicações da Reutilização de ART

O factor mais importante na análise das possíveis aplicações de reutilização é a qualidade das ART, principalmente quando se consideram impactes na saúde pública e no ambiente. Os principais factores a considerar na selecção da(s) aplicação(ões) são (Asano *et al.*, 2007; Marecos do Monte e Albuquerque, 2010):

- *A qualidade das ART, o que depende do seu nível de tratamento;*
- *o tipo de tecnologia associado ao tratamento das águas residuais;*
- *o equilíbrio entre a procura e a oferta de água para reutilizar, ou seja, entre o volume de água necessário para determinada utilização e o volume disponível de ART;*
- *as infraestruturas necessárias à concretização da reutilização, como reservatórios para armazenamento e sistemas de transporte e distribuição;*
- *a sustentabilidade económico-financeira do projecto de reutilização;*
- *a mitigação de impactes ambientais associados à reutilização.*

Na Tabela 2.3 sintetizam-se os principais factores que, de certo modo, condicionam a reutilização de ART para diversas aplicações.

Tabela 2.3 - Aplicações da reutilização de ART e factores condicionantes (Asano *et al.*, 2007; Marecos do Monte e Albuquerque, 2010)

| Aplicação                     |                                                  | Condicionantes                                                                                                                                    |
|-------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Rega agrícola                 | Viveiros de árvores e plantas                    | Necessidade de zona tampão<br>Comercialização das culturas<br>Saúde pública<br>Controlo dos aerossóis e drenagem                                  |
|                               | Culturas alimentares, forragens, cereais, fibras |                                                                                                                                                   |
|                               | Protecção contra as geadas                       |                                                                                                                                                   |
|                               | Silvicultura                                     |                                                                                                                                                   |
| Rega paisagística             | Campos de golfe                                  | Controlo da desinfecção<br>Saúde pública<br>Aceitação pública<br>Controlo dos aerossóis<br>Drenagem<br>Ligações cruzadas com rede de água potável |
|                               | Faixas separadoras e margens de auto-estradas    |                                                                                                                                                   |
|                               | Parques públicos                                 |                                                                                                                                                   |
|                               | Campus escolares                                 |                                                                                                                                                   |
|                               | Cemitérios                                       |                                                                                                                                                   |
|                               | Jardins residenciais                             |                                                                                                                                                   |
| Indústria                     | Água de arrefecimento                            | Aerossóis<br>Ligações cruzadas com rede de água potável<br>Incrustações, corrosão, filmes biológicos                                              |
|                               | Lavagem de equipamento                           |                                                                                                                                                   |
|                               | Combate contra incêndio                          |                                                                                                                                                   |
|                               | Construção pesada                                |                                                                                                                                                   |
|                               | Água de processo                                 |                                                                                                                                                   |
| Recarga de aquíferos          | Reforço dos aquíferos                            | Disponibilidade de locais<br>Contaminação das águas subterrâneas<br>Aumento do teor de SDT<br>Efeitos toxicológicos devidos a compostos orgânicos |
|                               | Barreira contra a intrusão salina                |                                                                                                                                                   |
|                               | Armazenamento                                    |                                                                                                                                                   |
| Usos recreativos e ambientais | Lagos e lagoas artificiais                       | Eutrofização<br>Ligações cruzadas com rede de água potável<br>Toxicidade para a vida aquática                                                     |
|                               | Reforço do caudal de cursos de água              |                                                                                                                                                   |
|                               | Reforço de zonas húmidas                         |                                                                                                                                                   |
|                               | Neve artificial                                  |                                                                                                                                                   |
| Usos urbanos não potáveis     | Descarga de autoclismos                          | Ligações cruzadas com rede de água potável<br>Incrustações, corrosão, filmes biológicos<br>Aceitação pública<br>Saúde pública                     |
|                               | Fontes e jogos de água ornamentais               |                                                                                                                                                   |
|                               | Lavagem de veículos                              |                                                                                                                                                   |
|                               | Lavagem de ruas                                  |                                                                                                                                                   |
|                               | Lavagem de contentores de RSU                    |                                                                                                                                                   |
|                               | Combate a incêndios                              |                                                                                                                                                   |
|                               | Varrimento de colectores                         |                                                                                                                                                   |
|                               | Fusão de neve                                    |                                                                                                                                                   |
|                               | Condicionamento de ar                            |                                                                                                                                                   |

#### 2.4.1. Rega agrícola

Asano *et al.*, (2007) referem que a rega na agricultura é, em quase todos os países, o sector que consome mais água, representando 70% do consumo de água a nível mundial. No continente americano, a Argentina e o México dispõem de importantes projectos de reutilização para rega. Por sua vez, nos EUA, sendo um país de agricultura desenvolvida, o consumo de água para rega na agricultura ronda os 40% do consumo de água (Huston *et al.*,

2004). Já em Portugal, o sector agrícola atinge cerca de 87,3% do total de procura anual de água (estimado em 6 550 milhões de metros cúbicos), a que corresponde um valor económico anual estimado em 524 milhões de euros, ou seja, cerca de 60% do valor económico atribuído ao sector urbano (Marecos do Monte e Albuquerque, 2010).

Marecos do Monte (2007) revela que, na Europa, são os países da orla mediterrânica (Espanha, França, Itália, Malta, Grécia e Chipre) e também Portugal, que maior interesse apresentam na implementação de projectos de reutilização na agricultura. Como exemplos de países que implementam intensivamente a reutilização para rega, referem-se os países das áreas do Médio Oriente (Jordânia e os estados do Golfo Pérsico, designadamente o Kuwait e os Emirados). Outros países que também promovem a reutilização para rega na agricultura e ampla escala, são a China e a Austrália.

#### **2.4.2. Rega paisagística**

Em termos de volume de água e em países desenvolvidos, a rega paisagística constitui a segunda maior aplicação de reutilização de ART. Apesar dos EUA serem o grande exemplo de reutilização para rega paisagística, esta aplicação tende a aumentar na Europa e no Extremo Oriente. Em Portugal, mais concretamente nas regiões do Algarve e do Oeste, assiste-se a um interesse crescente pela reutilização de ART na rega de campos de golfe.

Em alguns estados norte-americanos, principalmente na Florida e a Califórnia, e em muitos países europeus, a rega de campos de golfe começa a ser um grande consumidor de ART, uma vez que requerem grandes volumes de água para a sua preservação.

#### **2.4.3. Indústria**

A reutilização industrial representa a terceira principal aplicação de reutilização de águas, sendo utilizada, fundamentalmente, para repor perdas por evaporação ou para sistemas de arrefecimento. As indústrias grandes consumidoras de água (como por exemplo centrais de produção de energia térmica ou nuclear, refinarias de petróleo, siderurgias e outras indústrias transformadoras) são as que mais reutilizam a água. As actividades de limpeza, sistemas de extracção de inertes, água de processo e construção pesada, são outros exemplos de reutilização de água na indústria.

A reutilização de águas residuais é uma prática vantajosa para a generalidade dos sectores industriais e as unidades que podem beneficiar mais desta prática são as que produzem maiores volumes de efluentes (p.e. cerâmica, curtumes, extracção, tratamento e transformação de pedra natural, petroquímica; produção de tintas, vernizes e cola; produção de material eléctrico e electrónico; química; tratamento e transformação de madeiras; tratamento de superfície).

#### **2.4.4. Usos ambientais e recreativos**

A reutilização da água para uso recreativo e ambiental consiste na reutilização de águas residuais em massas de água naturais e artificiais, com vista à prática de actividades recreativas e/ou à preservação ou desenvolvimento de habitats. Assim, para além das referidas aplicações, mencionam-se os seguintes usos:

- Alimentação de lagos e lagoas (naturais ou artificiais) destinados à pesca e desportos náuticos (canoagem, banho e outros);
- conservação ou reabilitação de zonas húmidas naturais ou artificiais;
- reforço do caudal de cursos de água;
- produção artificial de neve.

Este tipo de aplicação é considerado o quinto domínio de aplicação de reutilização de água em países como os EUA, Japão e a região autónoma da Catalunha, em Espanha. De referir que no estado da Califórnia, 10% das águas residuais reutilizadas são para usos recreativos (US EPA, 2004).

#### **2.4.5. Usos urbanos não potáveis**

As ART podem ser aplicadas em algumas utilizações urbanas que consomem água potável sem que exista a necessidade de usar água de tão elevada qualidade, designadamente: combate a incêndios; descarga de autoclismos; construção pesada; varrimento de colectores; lavagem de pavimentos, passeios e vias; lavagem de espaços e equipamentos de apoio à construção; humedecimento do solo em obras de terra; produção de materiais de construção (p.e. cimento e estuque); fontes e espelhos de água; sistemas de ar condicionado; lavagem de equipamentos e meios de transporte (veículos, comboios e aviões); fusão de neve.

Em diversas cidades superpovoadas do Extremo Oriente (p.e., Singapura e Japão), muitos edifícios já são equipados com rede predial dupla (uma para abastecimento de água potável e outra para abastecimento de ART para a descarga de autoclismos). Só no Japão existem cerca de três milhares de edifícios equipados com esta tecnologia.

A reutilização de ART para combate a incêndios constitui uma aplicação praticada nos EUA, na Austrália e em Espanha (Catalunha). O abastecimento aos autotanques dos bombeiros faz-se a partir de bocas-de-incêndio instaladas nas condutas de ART. Em Portugal afigura-se interessante a reutilização de ART para combate a incêndios florestais, visto este ser um flagelo que tem consumido a floresta do país.

No norte do Japão utilizam-se ART para a fusão da neve acumulada nas ruas e estradas, bem como a rega de ruas e coberturas de edifícios para diminuir a temperatura. A lavagem de ruas e o controlo de poeira na construção de estradas são outros exemplos de reutilização ART.

## 2.4.6. Recarga de aquíferos

### ➤ Conceito de recarga artificial de aquíferos

Segundo Asano (2001), a RAQ de forma planeada constitui a quarta maior aplicação da reutilização da água, que tem sido praticada nos EUA e nos países do Médio Oriente, mas que nos últimos anos tem sido objecto de crescente interesse na Europa.

De acordo com Diamantino (2009), a RAQ pode definir-se como a introdução de água de forma artificial para o interior de um aquífero, com o objectivo de aumentar a disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos e/ou de melhorar a sua qualidade, contribuindo para uma adequada gestão do recurso hídrico subterrâneo, de forma o mais racional possível e de um modo economicamente viável. Pode, ainda, ser definida como o modo utilizado para aumentar a quantidade de água que se infiltra num reservatório subterrâneo. Eden *et al.* (2007) consideram que a recarga artificial é simplesmente o processo de adicionar água a um aquífero, enquanto Díaz *et al.* (2000), designam recarga artificial de aquíferos como um conjunto de técnicas que permitem, mediante intervenção programada e introdução directa ou induzida de água num aquífero, aumentar o grau de garantia e disponibilidade dos recursos hídricos, assim como actuar sobre a sua qualidade. Para Bower (2002) a recarga artificial de aquíferos é alcançada através da introdução de água superficial em bacias, sulcos, valas ou outros dispositivos, que permitem a infiltração de água no solo até atingir o aquífero.

As infraestruturas utilizadas podem ser os furos de injeção, construídos ou não apenas para este efeito, ou uma diversidade de estruturas construídas ao nível do solo que têm com principal objectivo aumentar e facilitar a infiltração da água para o sistema aquífero. A recarga artificial pode igualmente ser utilizada como método de redução da carga poluente em águas residuais, devido ao papel depurador do solo. Marecos do Monte (2005) menciona que os poluentes que trazem maior preocupação na RAQ com ART são os microrganismos patogénicos, nomeadamente os vírus entéricos, certos compostos orgânicos, como produtos farmacêuticos e de higiene pessoal, e compostos persistentes, que podem actuar como disruptores endócrinos, os metais pesados e os sais.

Marecos do Monte e Albuquerque (2010) salientam que a concepção de projectos de RAQ deve avaliar de forma criteriosa certos aspectos técnicos como sejam: os associados à variação do nível freático e disponibilidade de água no solo, às solicitações para consumo e requisitos de qualidade.

### ➤ Aplicações da recarga artificial de aquíferos

A RAQ pode trazer vantagens como (Díaz *et al.*, 2000; Bower, 2002; SEWRPC, 2006):

- *Gestão do abastecimento de água para consumo de acordo com as variações sazonais na disponibilidade de água;*
- *armazenamento subterrâneo das águas de escorrência superficial não reguladas;*
- *redução ou eliminação do rebaixamento da piezometria no aquífero;*
- *redução nos custos de transporte, armazenamento e bombagem de água subterrânea;*
- *acção sobre problemas de subsidência;*
- *diminuição ou controlo de problemas de intrusão salina que afectam alguns aquíferos costeiros;*
- *aproveitamento das propriedades depuradoras do solo e da zona não saturada do solo como forma de tratamento de águas potáveis ou residuais;*
- *diluição do teor em nitratos, cloretos ou outros elementos químicos das águas subterrâneas de determinados aquíferos pela diluição com a água de recarga;*
- *melhoria da qualidade da água através da remoção de sólidos suspensos pela filtração pelo solo;*
- *protecção ambiental como a manutenção de zonas húmidas ou o controlo de zonas contaminadas no aquífero;*
- *cumprimento de determinadas obrigações legislativas.*

Já para Marecos do Monte e Albuquerque (2010) a reutilização da água para RAQ tem como principal aplicação o reforço do volume de água subterrâneo, especialmente em zonas de escassez daquele recurso ou sujeitas a elevada pressão de extracção, podendo ainda satisfazer diversos outros objectivos, nomeadamente:

- *A criação de uma barreira hidráulica contra a intrusão salina em zonas costeiras;*
- *o tratamento complementar das águas residuais por meio do solo - através do chamado SAT;*
- *o armazenamento de água no solo, que funciona como um reservatório subterrâneo.*

Durante o seu percurso de infiltração através do solo as características da água sofrem um tratamento de afinação natural proporcionado por mecanismos de filtração, adsorção e biodegradação, resultando na redução de partículas em suspensão, de teores residuais de compostos orgânicos e de microrganismos, nomeadamente vírus. Um exemplo de RAQ não planeada ocorre nos sistemas de infiltração a jusante das fossas sépticas, nas instalações de tratamento no solo e nos sistemas de rega.

A RAQ pode incluir outras designações, para além da recarga artificial de aquíferos, nomeadamente a recarga natural, a recarga facilitada, a recarga induzida e a recarga incidental, como apresentado em Oliveira (2004), NNC (2002), Bouwer (2002) e Gale e Dillon (2005).

#### ➤ **Métodos de recarga de aquíferos**

De um modo geral, as metodologias que podem ser utilizadas dependem essencialmente se a recarga que se pretende efectuar poder ser directa, por infiltração no solo (mais adequadas

no caso de aquífero livres), ou se terá que ser indirecta, por intermédio de furos que atingem o aquífero a recarregar (mais adequadas no caso de aquíferos confinados, mais profundos).

Os métodos de recarga artificial podem dividir-se em superficiais ou profundos. Os métodos de recarga à superfície consistem em permitir a infiltração da água através de uma extensa superfície de contacto entre a água e o solo. São normalmente utilizados em aquíferos freáticos, que não possuem níveis de baixa permeabilidade, à superfície ou na zona não saturada do solo. Os métodos de recarga em profundidade consistem na introdução de água no aquífero por intermédio de furos ou poços. Normalmente são utilizados no caso de formações constituídas por alternância de níveis permeáveis com níveis impermeáveis (aquíferos confinados) (Díaz *et al.*, 2000).

De acordo com Díaz *et al.* (2000), os métodos de recarga à superfície podem ser aplicados ou não no leito dos rios. Os primeiros incluem as represas, as sarjas e os canais permeáveis; os segundos incluem as balsas, as valas, os canais e os terrenos extensos. Os métodos de recarga em profundidade incluem os furos de injeção, as grandes cavidades profundas no solo, os drenos e galerias e as valas e sondagens. Gale *et al.* (2002) referem que a recarga artificial pode realizar-se à superfície do solo (através de bacias, canais e valas), na zona não saturada do solo, ou injectando-as directamente no aquífero. Estes sistemas de recarga podem agrupar-se nas seguintes categorias: métodos de alagamento à superfície; poços e furos abertos; furos e sondagens; barreira de infiltração; represas de armazenamento de areia; recolha de água da chuva em telhados.

Gale e Dillon (2005) dividem os métodos de recarga artificial em: métodos de espalhamento (bacias de infiltração, SAT, inundações controladas, recarga incidental por irrigação); métodos que provocam modificações no leito de rios (bacias de percolação a jusante de açudes de controlo, represas de armazenamento de areia, açudes sub-superficiais, açudes permeáveis); furos de injeção, furos de injeção e recuperação (*Aquifer Storage and Recovery* - ASR) e poços; barreira de infiltração (*induced bank infiltration* e *interdune-filtration*); recolha de água da chuva (*rainwater harvesting*). O SEWRPC (2006) classifica os métodos de RAQ em infiltração superficial por intermédio de bacias de infiltração; infiltração sub-superficial por intermédio de furos ou valas na zona não saturada do solo; injeção directa por intermédio de furos de injeção; recarga facilitada através de alterações na superfície do solo; infiltração *riverbank* que utiliza campos de furos na proximidade de cursos de água; *water banking* no qual um aquífero é recarregado através de um dos métodos anteriores para recuperação futura.

Kumar e Fall (1997 *in* Diamantino, 2009) subdividem os métodos de recarga artificial de aquíferos em métodos directos e métodos indirectos. Os métodos de recarga directa incluem: bacias de alagamento, poços e depressões de recarga, valas e furos de recarga. Os métodos de recarga indirecta incluem a infiltração induzida em leito de rios e furos conjuntivos.

Segundo UNEP (1998 *in* Diamantino, 2009) os métodos de recarga podem classificar-se nas seguintes quatro categorias: técnicas directas de recarga à superfície, técnicas directas de recarga em profundidade, combinação de métodos à superfície e em profundidade e técnicas de recarga indirectas.

Na Tabela 2.4 apresenta-se um resumo dos vários métodos.

Tabela 2.4 - Métodos de RAQ (Marecos do Monte e Albuquerque, 2010)

| Métodos de Recarga                                                                                                                                       | Processo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Recarga directa no aquífero, cujos primeiros projectos foram executados no Arizona, nos EUA, na última década do século XX</b>                        | O efluente é introduzido directamente abaixo do nível freático, em aquíferos confinados ou livres (Figura 2.3). Os furos de recarga directa podem ser utilizados não só para a recarga, mas também para a extracção da água armazenada no aquífero. A recarga directa de aquíferos pode ser uma prática vantajosa em zonas de elevada inclinação do terreno ou onde a disponibilidade de área e o seu custo inviabilizam economicamente a utilização de um sistema de infiltração no solo. Trata-se de um método mais adequado quando se pretende uma regularização rápida do nível freático ou uma acção rápida para a protecção de aquíferos contra a intrusão salina. Entre as principais desvantagens destacam-se os custos associados a gastos de energia, processos para afinação do efluente (destinados a prevenir o risco de alteração da qualidade da água do meio receptor), estruturas para armazenamento ou compensação, especialmente úteis em situações de escassez ou de extracção excessiva. |
| <b>Recarga indirecta pressupondo a utilização de um sistema de infiltração no solo, como bacias de infiltração<br/>Recarga indirecta por infiltração</b> | O efluente, após passar por uma camada de material poroso, é introduzido no solo, normalmente, na zona não saturada. As estruturas mais utilizadas são as bacias de infiltração (Figura 2.3), naturais ou construídas, com ou sem vegetação, de fluxo vertical, horizontal ou subsuperficial. As camadas filtrantes podem ser constituídas por material natural, do próprio solo ou de empréstimo (exemplo: areia ou areão), ou produzido industrialmente (exemplo: argila calcinada expandida), compactadas de acordo com as velocidades de infiltração desejadas. A recarga indirecta por infiltração é um método interessante para a gestão de volumes extraídos em zonas de sobre-exploração do recurso, além de funcionar como processo de tratamento. As principais desvantagens deste método residem na necessidade de remoção de lamas ou de substituição da camada filtrante e o controlo do desenvolvimento excessivo de vegetação.                                                                 |
| <b>Recarga indirecta por furos de injeção no solo, na zona não saturada acima do nível freático, praticada desde os anos 60</b>                          | Exige a existência de uma zona não saturada acima do nível freático e é uma solução vantajosa em áreas urbanas onde a pouca disponibilidade de terreno, associado ao seu elevado custo, são factores limitantes para a implantação de zonas de infiltração ou tratamento. Apresenta as vantagens acrescidas da afinação do efluente na zona não saturada e de poderem ser utilizados vários pontos de injeção, o que, comparativamente com a solução centralizada de infiltração no solo, pode resultar na minimização de custos.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

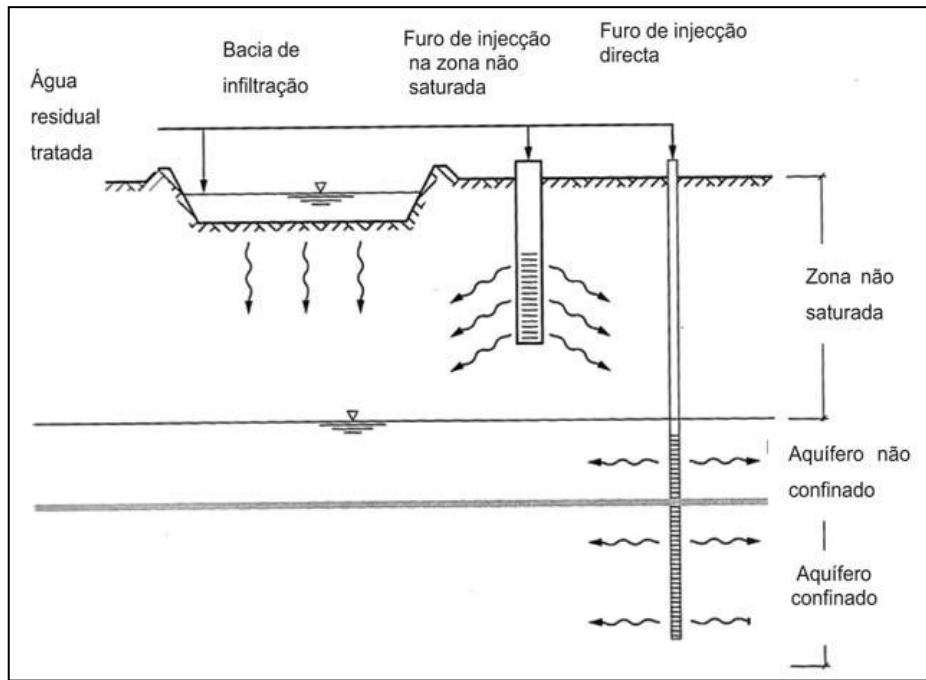


Figura 2.3 - Métodos de RAQ (adaptada de Marecos do Monte e Albuquerque, 2010)

O sistema de recarga é composto por um sistema de tratamento e as infraestruturas de armazenamento ou injeção, antes da recarga, e uma componente subterrânea, que inclui o sistema de introdução de água residual no solo (directo ou indirecto), conforme se encontra apresentado na Figura 2.4.

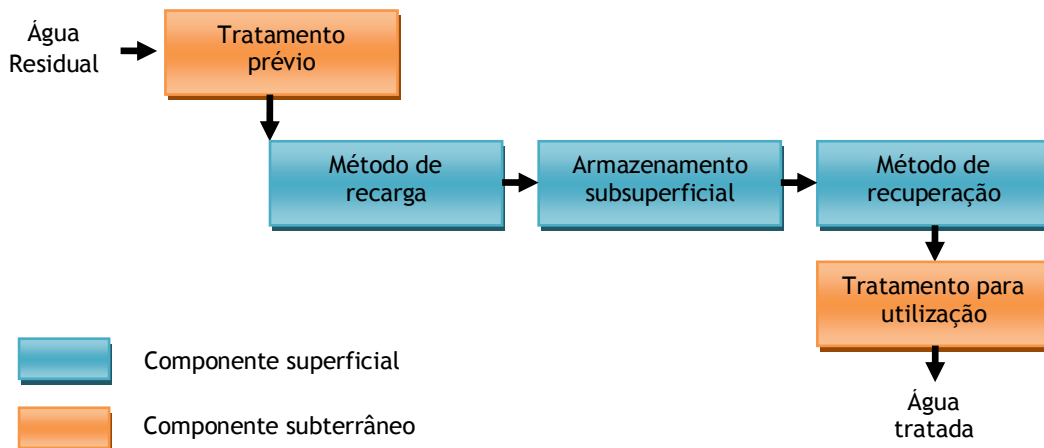


Figura 2.4 - Componentes de um sistema de recarga (adaptada de Marecos do Monte e Albuquerque, 2010)

O método de recarga depende do tipo de aquífero (se é confinado ou livre), dependendo a afinação da qualidade do efluente infiltrado do tempo de armazenamento e da forma de escoamento no solo. No que refere ao nível de tratamento pré-recarga é definido em função da qualidade exigida para a sua utilização.

Nestes termos, os projectos de RAQ têm que ser criteriosamente avaliados diversos aspectos técnicos, nomeadamente os associados à hidrologia das águas subterrâneas, a procura para utilização e respectivos requisitos de qualidade, entre os quais assumem elevada importância os aspectos relacionados com a protecção da saúde pública.

No que respeita à qualidade exigida ao efluente, deve ser máxima no caso de recarga directa, uma vez que o risco de contaminação da água subterrânea é elevado. No caso de recarga indirecta, é necessário avaliar o grau de remoção de poluentes que deve ser aplicado ao efluente, tendo em atenção que existem compostos que são removidos com dificuldade em meio poroso (p.e., nitratos, alguns metais pesados e algumas espécies de vírus e bactérias). A constituição do meio poroso (solo natural ou leito filtrante), o nível freático e a profundidade das camadas acima do nível freático, são factores importantes para a avaliação da redução de poluentes proporcionada pela infiltração. A localização de pontos de recarga deve estar afastada dos pontos de extracção de água, não só para garantir uma adequada mistura do efluente tratado no aquífero e uma regularização da qualidade da água, como para minimizar a eventual rejeição da utilização da água pelo público.

Os factores com maior peso na utilização desta tipologia de reutilização ou a selecção de um dos três métodos de recarga são as características hidrogeológicas do aquífero e a disponibilidade de terreno (Tabela 2.5).

**Tabela 2.5** - Condições de utilização dos diferentes métodos de recarga (Marecos do Monte e Albuquerque, 2010)

| Parâmetro                  | Recarga directa                      | Recarga indirecta com infiltração     | Recarga indirecta por furos de injeção |
|----------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|
| Tipo de aquífero           | Confinado e livre                    | Livre                                 | Livre                                  |
| Ponto de injeção           | Zona saturada                        | Zona não saturada                     | Zona não saturada                      |
| Tratamento a montante      | Secundário, terciário e de afinação  | Secundário                            | Secundário <sup>A</sup>                |
| Taxa de aplicação          | 2.000 - 6.000 m <sup>3</sup> /furo.d | 1.000 - 20.000 m <sup>3</sup> /ha.d   | 1.000 - 3.000 m <sup>3</sup> /furo.d   |
| Disponibilidade de terreno | Baixa                                | Elevada                               | Baixa                                  |
| Tempo de vida médio (anos) | 25 - 50                              | >100                                  | 5 - 20                                 |
| Manutenção                 | Desinfecção e rebaixamento de nível  | Remoção de lamas e de vegetação morta | Limpeza e desinfecção                  |

<sup>A</sup> Pode ser necessário tratamento adicional se as características da zona não saturada não garantirem a afinação do efluente

### ➤ Tratamento de águas residuais no solo por infiltração rápida - bacias de infiltração

O processo de tratamento de águas residuais por infiltração rápida (Figura 2.5) consiste na infiltração através do solo de águas residuais, submetidas pelo menos a tratamento preliminar, aplicadas a uma carga hidráulica significativamente mais elevada do que no caso da infiltração lenta. A infiltração rápida pode efectuar-se por furos de injeção directa (neste caso, a água infiltrada atinge rapidamente as águas subterrâneas) ou em bacias de infiltração (são grandes bacias praticadas no terreno, periodicamente inundadas com as águas residuais, que assim se infiltram no solo). Tem sempre que haver pelo menos duas bacias, uma das quais se mantém em repouso, enquanto a outra efectua o seu ciclo de infiltração. Durante o repouso, dá-se a secagem das lamas retidas no fundo da bacia.

A água tratada no solo pode ser recuperada para posterior reutilização através de um sistema de drenagem constituído por tubagem perfurada ou por meio de furos de captação. A infiltração rápida em bacias de infiltração consiste no chamado SAT, processo que também constitui um método de recarga dos aquíferos, mas que não requer um tratamento das águas residuais tão completo antes da infiltração, antes constituindo um processo de tratamento natural, que chega mesmo à desinfecção (Asano *et al.*, 2007). Grande parte dos processos depurativos ocorre nos primeiros centímetros da camada superficial do solo. Enquanto a degradação biológica de compostos orgânicos e a nitrificação-desnitrificação ocorrem tanto na zona não-saturada como na zona saturada do solo, a remoção de microrganismos é muito mais eficiente na camada não saturada. Se o objectivo do tratamento no solo incluir a desinfecção da água, deve procurar-se solo com textura uniforme e com profundidade não-saturada superior a 3 metros (Reed *et al.*, 1995 in Marecos do Monte e Albuquerque, 2010).

O bom desempenho do processo de tratamento de águas residuais em bacias de infiltração depende essencialmente da permeabilidade do solo, a qual por sua vez depende da natureza desse solo (estrutura e textura) e da carga hidráulica aplicada (Tchobanoglous *et al.*, 2003). O solo deve ser grosseiro, de modo que proporcione elevada taxa de infiltração, mas não tão grosseiro que não assegure a filtração das águas residuais. Solos com permeabilidade da ordem de 25 mm/h são apropriados para infiltração rápida (Pedrero, 2010). A carga hidráulica a aplicar em bacias de infiltração é da ordem de 1 a 4 mm<sup>3</sup>/ha.ano (Bower, 1991), o que corresponde à infiltração de alguns cm por dia durante o ciclo de carga.

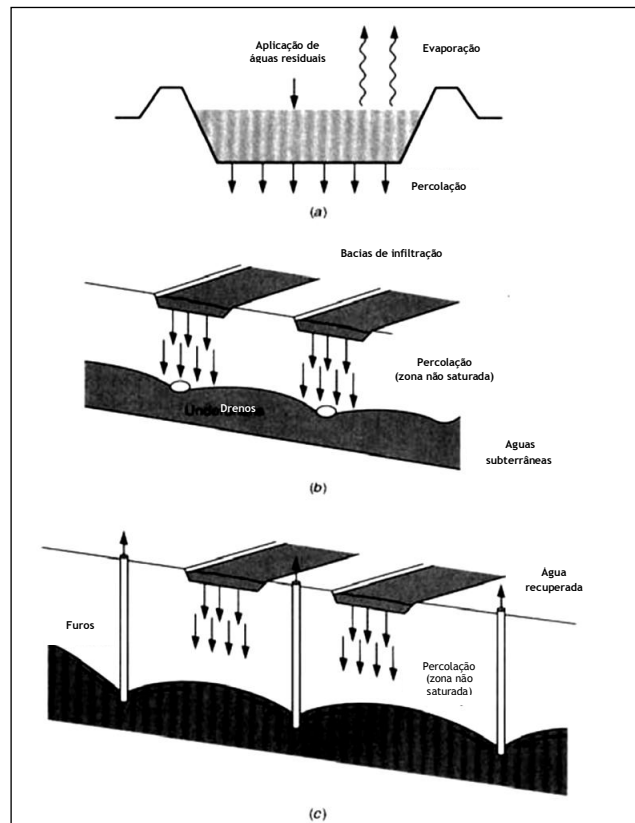


Figura 2.5 - Infiltração rápida (adaptada de Marecos do Monte e Albuquerque, 2010)

A reutilização de ART provenientes de estações de tratamento para a infiltração através do solo, beneficiando das suas propriedades depuradoras da qualidade da água, tem vindo a tornar-se uma fonte e uma forma de RAQ a considerar (Diamantino, 2009). Os estudos nesta área têm vindo a aumentar nas últimas décadas, especialmente nos EUA, incidindo sobre os processos biogeoquímicos, hidráulicos e operacionais envolvidos na recarga de águas residuais e a sua recuperação para abastecimento, após beneficiar do tratamento natural pela passagem pelo solo, designado de SAT (Bouwer, 2002).

➤ **Critérios e Requisitos de qualidade de ART reutilizadas na recarga de aquíferos**

As águas residuais a introduzir no solo devem ser tratadas de modo que não poluam nem contaminem as águas subterrâneas, não reduzam a capacidade de infiltração do solo, nem solubilizem excessivamente o solo ou alterem as suas características. As características qualitativas das ART relevantes para estes objectivos são a carga microbológica, sólidos dissolvidos totais, fosfatos e outros constituintes susceptíveis de precipitar durante a

passagem pelo solo, elementos tóxicos, como metais pesados, nutrientes, compostos orgânicos vestigiais.

Os requisitos de qualidade das ART destinadas à RAQ são diferentes, de acordo com as seguintes características (Marecos do Monte e Albuquerque, 2010):

- *O uso da água do aquífero - consumo humano, indústria, rega, protecção do ambiente através de barreira hidráulica - implica ou não aproveitamento das águas do aquífero como origem de água para potabilização;*
- *o método de recarga - injeção directa no aquífero ou recarga indirecta, em bacias de infiltração ou similares, o qual depende fortemente das características hidrogeológicas locais e da procura de recursos hídricos.*

Quanto aos requisitos de qualidade das ART utilizadas na RAQ, no contexto do aquífero, deve observar-se o seguinte:

- *Utilização do aquífero: para extracção de água destinada a consumo humano (o que determina que a protecção da saúde pública seja o objectivo primordial) ou para utilizações não potáveis (o que atenua os requisitos relativos à protecção da saúde pública).*
- *características hidrogeológicas do aquífero: é fundamental conhecer as suas fronteiras e se é utilizado ou há possibilidade de contacto com aquíferos usados para água para abastecimento público, situação em que a abordagem deve ser conservativa, na perspectiva da salvaguarda da saúde pública.*
- *possibilidade de tratamento das águas residuais pela sua percolação através da camada não saturada do solo.*

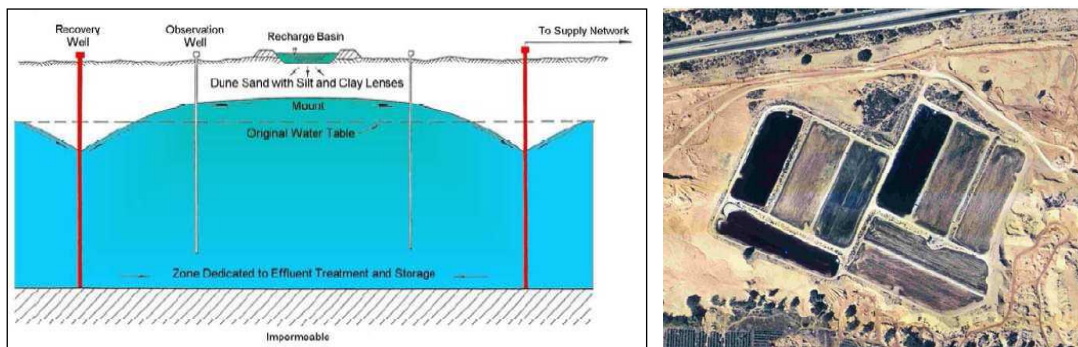
#### ➤ **Aplicações da recarga artificial de aquíferos no mundo**

Em países como Alemanha, Áustria, Dinamarca, Espanha, Finlândia, Holanda, Hungria e Suécia existem exemplos de projectos de recarga artificial de aquíferos. Estes países têm normalmente índices elevados de utilização de águas subterrâneas para abastecimento pelo que o contributo da recarga artificial tem um papel muito importante. Nos EUA, os objectivos destes sistemas estão mais associados ao abastecimento industrial e agrícola do que ao abastecimento público. As exigências ambientais na legislação deste país são muito rigorosas, em termos de qualidade da água destinada à RAQ.

Em países como Israel, Kuwait, Líbano e Egipto, a RAQ tem o objectivo de servir de apoio ao abastecimento urbano (Díaz *et al.*, 2000). Israel tem sofrido durante anos de escassez de água. O deficit acumulado dos recursos de água renováveis atinge cerca de 2 mil milhões de m<sup>3</sup>, sendo esta quantidade igual ao consumo anual. A causa deste problema, tanto se deve a causas naturais (p.e. períodos de secas), como antropogénicas, designadamente o aumento populacional que levou o aumento das necessidades de água para abastecimento doméstico

(MFA, 2007). Neste país, os três principais objectivos da RAQ são a reposição dos níveis piezométricos, o armazenamento sazonal e por períodos longos e a reutilização de efluentes tratados. A recarga artificial com o objectivo de armazenamento subterrâneo é realizada por furos ou bacias de infiltração.

No que refere à recarga artificial de efluentes tratados, um bom exemplo é o Complexo de Shafdan, descrito em Diamantino (2009). Trata-se do mais importante sistema de RAQ de Israel e provavelmente do mundo (Bensabat, 2006). Também é designado pelo Projecto de reutilização de águas residuais de Dan Region (*Dan Region Wastewater Reclamation Project*) que possibilita a recolha, tratamento, recarga e reutilização de efluentes (NRC, 1994; Shevah, 1982). Os efluentes provenientes da cidade de Tel-Aviv (com 1,3 milhões de habitantes), são transportados para uma ETAR com tratamento secundário, sendo posteriormente injectados num aquífero arenoso costeiro, por intermédio de bacias de infiltração. A água é depois recuperada através de furos colocados em torno das bacias de infiltração, e transportada para os pontos de aplicação. A localização destes furos está condicionada por uma distância necessária para um tempo de residência suficiente (cerca de 200 dias) (Bensabat, 2006). A Figura 2.6 mostra um esquema do processo de recarga artificial, as bacias de infiltração e os furos de recuperação da água infiltrada.



**Figura 2.6** - Ilustração esquemática do processo de infiltração e fotografia aérea do Complexo de recarga artificial de Shafdan (Israel) (Bensabat, 2006)

Existem dois sistemas de recarga: o primeiro composto por quatro bacias (área de 24 ha) e o segundo por três bacias (área de 18 ha). O enchimento é feito de forma alternada, mantendo taxas de infiltração elevadas e permitindo o tratamento dos efluentes durante a sua percolação pelo solo (NRC, 1994). Durante os 25 anos de operação, este sistema permitiu a infiltração de 1 500 hm<sup>3</sup> de efluentes tratados no aquífero, através de 0,9 km<sup>2</sup> de área total, valor que é equivalente à recarga natural contínua do aquífero na área das bacias durante 600 anos (Bensabat, 2006). Cerca de 275 hm<sup>3</sup> de ART são utilizadas para a irrigação, cerca de 65% do volume de água produzida (ISCID, 2007; Shevah, 2000). Estima-se que, no ano 2020, cerca de 600 hm<sup>3</sup> do volume total de água fornecida para a agricultura seja proveniente de ART e recicladas (Shevah, 2000).

Os casos de estudos que se apresentam na Tabela 2.6, desenvolvidos no projecto no Projecto RECLAIMWATER, pretendem mostrar, em termos comparativos, várias tecnologias de recuperação da qualidade da água e várias metodologias de recarga artificial de aquíferos, desde as bacias de infiltração à injeção directa no aquífero.

Tabela 2.6 - Descrição sumária de alguns casos de estudo abordados no Projecto RECLAIMWATER (adaptada de Diamantino, 2009)

| Localização e capacidade                                                                                                              | Descrição do esquema                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Gaobeidian<br/>Beijing, China<br/>Capacidade: 650m<sup>3</sup>/dia</p>                                                             | <p>Efluentes com tratamento terciário são utilizados para a RAQ. Inicialmente é feita a passagem através de um filtro de areia, com capacidade superior a 500m<sup>3</sup>/dia. Depois é feita a extração desta água e a sua injeção através de furos de infiltração. Adicionalmente, a recarga pode efectuar-se através de uma bacia de espalhamento, com capacidade para 100-150m<sup>3</sup>/dia.</p>                                                                                                                    |
| <p>Mezquital Valley<br/>México<br/>Capacidade: 2,2 milhões m<sup>3</sup>/dia<br/>Infiltração anual: 630 milhões m<sup>3</sup>/ano</p> | <p>Águas residuais misturadas com águas de escorrência e águas pluviais são descarregadas numa zona de irrigação, com uma área superior a 76 000 ha. Cerca de 40% da água é infiltrada no aquífero. A sua recuperação é feita via furos e nascentes (em operação estão 206 sistemas de furos, 31 nascentes e 63 poços). Após cloragem a água é distribuída para abastecimento humano e industrial, irrigação e outros usos.</p>                                                                                             |
| <p>Nardò<br/>Região de Salento, Bari, Itália<br/>Capacidade: 12000 m<sup>3</sup>/dia</p>                                              | <p>Efluentes municipais com tratamento secundário são transportados via um canal aberto para injeção no aquífero através de um <i>sinkhole</i>. A recarga do aquífero funciona como barreira à intrusão salina. A origem de água é também utilizada como água para abastecimento.</p>                                                                                                                                                                                                                                       |
| <p>Sabadell<br/>30 Km de Barcelona, Espanha<br/>Capacidade: 25000m<sup>3</sup>/dia</p>                                                | <p>Águas residuais com tratamento secundário são infiltradas num leito de um rio. A recuperação da água é realizada via uma mina localizada sob o rio; depois é sujeita a desinfecção (UV) e distribuída para irrigação em parques recreativos.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <p>Shafdan<br/>Negev, Israel</p>                                                                                                      | <p>Águas residuais com tratamento secundário provenientes da região de Tel-Aviv são recarregadas num aquífero através de um sistema de “soil aquifer treatment”, com um tempo de retenção de 6-12 meses. Posteriormente a água é extraída e utilizada para irrigação agrícola (cerca de 216 milhões m<sup>3</sup>/ano)</p>                                                                                                                                                                                                  |
| <p>Torrele (Wulpen)<br/>Bélgica<br/>Capacidade: 8640m<sup>3</sup>/dia<br/>Infiltração actual: 2,5 milhões de m<sup>3</sup>/ano</p>    | <p>Efluentes municipais com tratamento terciário são descarregados numa bacia de infiltração (área 18 000 m<sup>2</sup>), com uma taxa média de infiltração de 285 m<sup>3</sup>/hora, através de dunas numa zona costeira, com o objectivo de prevenção da intrusão salina e de RAQ utilizado para a produção de água para abastecimento. As águas reutilizadas são recapturadas, após um tempo de residência mínimo no aquífero, de 40 dias e seguidamente sujeitas a um tratamento de aeração e filtração com areia.</p> |

## 2.5. Legislação comunitária e nacional com incidência na reutilização de águas residuais tratadas

Ao nível das normas comunitárias, dirigidas especificamente aos Estados-Membros, o princípio da reutilização da água está afirmado de uma forma muito clara no artigo 12º da Directiva 91/271/CEE, referindo que os Estados membros devem reutilizar as ART sempre que apropriado<sup>1</sup>. Uma peça legislativa fundamental na política da água na UE é a Directiva 2000/60/CE<sup>2</sup> que estipula diversos objectivos para a protecção das águas, quer em termos de quantidade como de qualidade, e para a promoção de uma utilização sustentável da água.

Para além destas duas directivas da UE, as quais contêm o princípio da reutilização da água, as directivas relativas aos usos da água, cujos requisitos têm de ser observados quando a água é reutilizada para esses usos (águas balneares, água para consumo humano, águas piscícolas, entre outras) e à protecção do ambiente (das águas superficiais e subterrâneas, do solo, dos habitats) podem ser relevantes para a reutilização. Por outro lado, as Directivas 85/337/CEE e 97/11/CEE relativas à avaliação de impactes ambientais, a Directiva 2004/35/CE relativa à responsabilidade ambiental, que estabelece uma estrutura de prevenção e reparação de danos ambientais (sobre a água, o solo e a biodiversidade), poderão ter incidências menos directas sobre sistemas de reutilização de águas residuais (Marecos do Monte e Albuquerque, 2010).

No contexto nacional, os principais suportes legislativos da política nacional da água são o Plano Nacional da Água (PNA), publicado pelo Decreto-Lei n.º112/2002 de 17 de Abril, a Lei n.º58/2005 de 29 de Dezembro, designada Lei da Água e que transpõe a DQA, o Decreto-Lei n.º 226-A/2007 de 31 de Maio, o qual estabelece o regime da utilização dos recursos hídricos e a Lei n.º54/2005 de 15 de Novembro, considerada a lei da Titularidade dos Recursos Hídricos. De acordo com estes diplomas, os recursos hídricos nacionais devem ser geridos no âmbito das bacias hidrográficas, devendo ser utilizados de forma sustentável, assegurando o bom estado ecológico das águas e a promoção da melhoria da sua qualidade, princípio que implicitamente estimula a reutilização da água.

A reutilização das águas, não sendo imposta como obrigatória, é uma prática a incentivar e a seguir sempre que possível e adequado, não só em diplomas que definem políticas públicas<sup>3</sup>,

---

<sup>1</sup> A expressão “sempre que apropriado” pode ser entendida como preconizando a reutilização de águas residuais tratadas pela forma que cada Estado-membro entender, desde que tal não seja proibido por qualquer outra legislação comunitária, não comprometa a implementação de compromissos internacionais e não ponha em causa a prossecução dos objectivos da política ambiental da União Europeia (Marecos do Monte e Albuquerque, 2010).

<sup>2</sup> Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Outubro (transposta para a ordem jurídica nacional pela Lei n.º58/2005 de 29 de Dezembro e pelo Decreto-Lei n.º77/2006 de 30 de Março).

<sup>3</sup> Nomeadamente o Programa de Acompanhamento e Mitigação dos Efeitos da Seca 2005, aprovado pela Resolução de Conselho de Ministros n.º83/2005 de 19 de Abril; o Programa Nacional para o Uso Eficiente

mas também em diplomas que directamente disciplinam as actividades dos agentes económicos, nomeadamente o Decreto-Lei n.º152/97 de 19 de Junho (tratamento das águas residuais urbanas), Decretos-Lei n.º226-A/2007<sup>4</sup> de 31 de Maio (regime da utilização dos recursos hídricos). Estes diplomas *preconizam a reutilização como alternativa à descarga no meio hídrico por parte dos sistemas de recolha e tratamento de águas residuais, sempre que possível e adequado* (Marecos do Monte e Albuquerque, 2010). Não existe no ordenamento jurídico português um regime especificamente dedicado à actividade da reutilização das águas residuais, mas apenas normas incluídas nos regimes gerais relativos aos recursos hídricos que regulam aspectos pontuais da reutilização (designadamente no que refere ao procedimento de licenciamento ou aos parâmetros de qualidade).

Na Tabela 2.7 apresenta-se a legislação comunitária e nacional com incidência na RAQ com ART.

**Tabela 2.7** - Legislação comunitária e nacional com incidência na RAQ com ART (adaptada de Marecos do Monte e Albuquerque, 2010)

| Aplicação da Reutilização   | RAQ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Incidências na reutilização | Protecção da saúde pública se o aquífero for usado como origem de água                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Legislação comunitária      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Directiva n.º2000/60/CE, do Parlamento e do Conselho, de 23 de Outubro:</b> estabelece um quadro de acção comunitária no domínio da política da água (Directiva Quadro da Água, DQA);</li> <li>- <b>Directiva n.º91/676/CEE, do Conselho, de 12 de Dezembro:</b> vulgarmente referida como Directiva Nitratos, relativa à protecção das águas contra a poluição causada por nitratos de origem agrícola, transposta para a ordem jurídica interna através do Decreto-Lei n.º235/97, de 3 de Setembro, na redacção dada pelo Decreto-Lei n.º68/99, de 11 de Março;</li> <li>- <b>Directiva n.º2006/118/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 12 de Dezembro:</b> protecção das águas subterrâneas contra a poluição e deterioração.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Legislação nacional         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Lei n.º58/2005, de 29 de Dezembro (Lei da Água):</b> transpõe para o ordenamento jurídico nacional a Directiva n.º2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro (Directiva Quadro da Água);</li> <li>- <b>Decreto-Lei n.º 77/2006, de 30 de Março:</b> complementa a transposição da DQA, em desenvolvimento do regime fixado na Lei da Água;</li> <li>- <b>Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de Maio:</b> estabelece o novo regime da utilização dos recursos hídricos, nos termos da Lei n.º58/2005, de 29 de Dezembro, e revogou o Decreto-Lei n.º46/94, de 22 de Fevereiro;</li> <li>- <b>Decreto-Lei n.º 235/97, de 3 de Setembro,</b> alterado pelo <b>Decreto-Lei n.º68/99, de 11 de Março:</b> poluição das águas por nitratos de origem agrícola;</li> <li>- <b>Decreto-Lei n.º 208/2008, de 28 de Outubro:</b> estabelece o regime de protecção das águas subterrâneas contra a poluição e deterioração, transpondo para a ordem jurídica interna a Directiva n.º2006/118/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 12 de Dezembro, dando também cumprimento ao disposto no artigo 47.º e no n.º3 do artigo 102.º da Lei da Água, no respeitante à avaliação do estado químico da água subterrânea.</li> </ul> |

da Água (PNUEA), aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º113/2005 de 30 de Junho; o Plano Estratégico para o Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais (PEAASAR II), aprovado pelo Despacho n.º2339/2007 (2ªsérie) de 28 de Dezembro de 2006.

<sup>4</sup> Este diploma estabelece ainda que a captação de águas públicas, quando destinada, nomeadamente, a rega de jardins, espaços públicos e campos de golfe, será, sempre que possível, utilizada como complemento de outras origens de água, designadamente o aproveitamento de águas residuais urbanas.

### ➤ **Licenciamento da actividade**

A RAQ, na medida em que constitui uma utilização do domínio hídrico, encontra-se sujeita a um regime de licenciamento, conforme estabelecido na Lei da Água (artigos 60.º e 62.º) e no Decreto-Lei n.º226-A/2007 (artigo 58.º e seguintes), o qual será aplicável independentemente de se utilizarem ART. A Portaria n.º1450/2007, de 12 de Novembro, fixa as regras para a instrução dos pedidos de utilização dos recursos hídricos, complementando a aplicabilidade do Decreto-Lei n.º226-A/2007.

### ➤ **Requisitos de qualidade**

Se a reutilização for susceptível de afectar as características de águas subterrâneas ou superficiais, como é por exemplo o caso da RAQ, as águas residuais devem ter um nível de tratamento que garanta o respeito dos padrões de qualidade estabelecidos para tais águas em função dos usos a que estão destinadas. Assim, o Decreto-Lei n.º236/98, de 1 de Agosto, constitui uma referência legal importante nos Sistemas de Reutilização de Águas Residuais Tratadas (SRART), pois estipula os padrões de qualidade da água para diversas finalidades: águas doces superficiais e águas subterrâneas destinadas à produção de água para consumo humano, águas doces superficiais para fins piscícolas, águas balneares e águas de rega.

O Decreto-Lei n.º69/2000, de 3 de Maio, parcialmente alterado pelo Decreto-Lei n.º197/2005, de 8 de Novembro, estabelece o regime jurídico da avaliação de impacte ambiental, que exige que os projectos, públicos ou privados, susceptíveis de produzirem efeitos negativos no ambiente, sejam sujeitos a uma avaliação de impacte ambiental (AIA) previamente à respectiva autorização ou licenciamento, como é o caso dos projectos de reutilização. Algumas utilizações de ART implicam riscos ambientais, sendo aplicável o Decreto-Lei n.º147/2008, de 29 de Julho, que estabelece o regime jurídico da responsabilidade por danos ambientais.

## Capítulo 3

### Sistemas de Informação Geográfica

#### 3.1. Conceito de SIG

Sendo variadas as definições existentes sobre o que é um Sistema de Informação Geográfica (SIG), acentuando algumas a componente de base de dados, outras as ferramentas que são disponibilizadas, existindo ainda as que enfatizam o facto de constituírem uma ferramenta de apoio à tomada de decisão. No entanto, todas estas definições têm em comum o facto de referirem tratar-se de um sistema de manuseamento e análise de informação espacial e apoio à tomada de decisão nas mais variadas áreas do conhecimento (Llopis, 2008).

Para Michael Dacey e Duane Marble (1965 *in* Silva *et al.*, 2004) um SIG é qualquer sistema de gestão de informação que possa:

- *Receber, armazenar e disponibilizar informação baseada em localização espacial;*
- *identificar locais segundo a especificação de um dado critério de selecção;*
- *explorar as relações entre conjuntos de dados inerentes a um contexto espacial;*
- *analisar e relacionar dados e informação como suporte a tomadas de decisão sobre o espaço ou região em estudo;*
- *facilitar a selecção e transferência de dados para modelos analíticos e/ou numéricos relativa a aplicações específicas capazes de quantificar situações alternativas;*
- *representar, numérica ou graficamente, parâmetros inerentes à zona em estudo, antes e depois de qualquer análise.*

Contudo, todas as definições têm em comum o facto de referirem tratar-se de um sistema de manuseamento e análise de informação espacial e apoio à tomada de decisão em variadas áreas do conhecimento (Llopis, 2008). A base de um SIG é, assim, a informação espacial em forma de “layers”, em formato digital que pode ser raster (representa variáveis) ou vectorial (representa objectos). Um SIG é então um sistema concebido para organizar, armazenar, aceder e manipular a informação geográfica; associa a informação alfanumérica a dados geográficos; tem capacidades de análise e produção de dados geográficos e tem base computacional.

Tomlinson (1969 *cit in* Llopis, 2008) apresentou uma primeira referência a um SIG, referindo ser *uma aplicação informática cujo objectivo era o de desenvolver um conjunto de tarefas com informação geográfica digitalizada*. Já Berry (1987 *cit in* Llopis, 2008) definiu um SIG como *um sistema informático desenhado para o manuseamento, análise e cartografia de*

*informação espacial*. Para Burrough e MacDonnell (1988 cit in Llopis, 2008) um SIG é um sistema de ferramentas para reunir, introduzir, armazenar, recuperar, transformar e cartografar dados espaciais sobre o mundo real com a finalidade de satisfazer múltiplos fins.

Em 1990, o National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA) dos EUA definiu SIG como *sistema de hardware, software e procedimentos elaborados para facilitar a obtenção, gestão, manuseamento, análise, modelação, representação e impressão de dados espacialmente referenciados, para resolução de problemas complexos de planeamento e gestão* (Llopis, 2008). Congalton e Green (1992 in Basnet et al. 2001) consideram um SIG uma ferramenta de entrada, armazenamento, manipulação e análise de grandes volumes de dados espaciais. Os recentes avanços em SIG desenvolveram técnicas para seleccionar, classificar e localizar em mapas, locais adequados (ou inadequados) para uma determinada finalidade (Davis, 1996 in Basnet et al., 2001).

Deste modo, um SIG é um sistema de software amplamente usado para armazenar, gerir, analisar e visualizar informação geográfica (Apel, 2006; Kim Yoo, 2007 in Chenini e Mammou, 2010). E de acordo com Silva (2006) os SIG são um campo de difícil definição uma vez que são objecto de estudo e utilização por variadas áreas do conhecimento, e cada uma delas vai orientar o recurso, logo o conceito, de acordo com as suas necessidades e objectivos. São, assim, sistemas integrados de hardware, software, dados, pessoas, organizações e técnicas para adquirir, armazenar, analisar e disseminar informação acerca de áreas da superfície terrestre.

Funcionam como ferramentas para análise espacial e modelação geográfica, uma vez que possibilitam a utilização de grandes quantidades de dados e informação, bem como a sua análise e modelação (Soares, 2004 in Costa, 2007), combinando as potencialidades de manipulação de dados de um Sistema de Gestão de Base de Dados relacional com as potencialidades de manipulação de dados espaciais de um programa de Desenho Assistido por Computador (CAD) ou similar (Almeida, 2005). Ou seja, são sistemas que contêm informação georreferenciada.

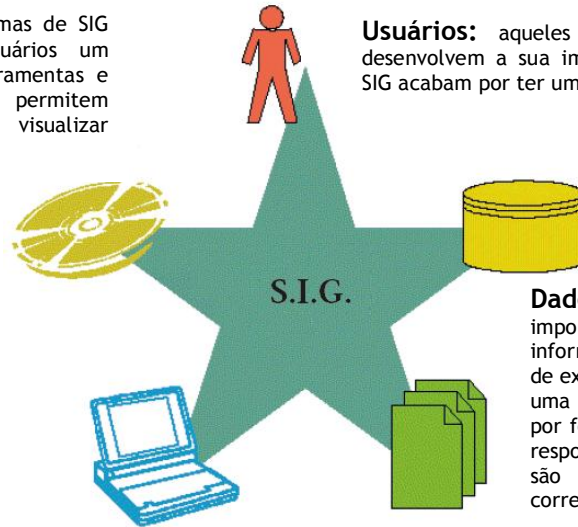
### **3.2. Componentes e Aplicações de um SIG**

De acordo com Llopis (2008) um SIG é composto pelos seguintes elementos: Usuários; Software; Hardware; Dados e Métodos (Figura 3.1).

Na perspectiva de Painho e Peixoto (2002) um SIG é um sistema que permite a integração, manipulação, análise e visualização, sob uma componente tecnológica (*hardware e software*), um tipo particular de dados (a informação geográfica) e os seus atributos (por vezes não geográficos). Esta manipulação de informação realiza-se em conformidade com certos

métodos de análise e sempre no âmbito de uma determinada organização e área de conhecimento, sendo, portanto, possível a sua aplicação a um grande número de actividades e áreas científicas (Tabela 3.1).

**Software:** os programas de SIG disponibilizam aos usuários um grande número de ferramentas e funcionalidades que permitem armazenar, analisar e visualizar informação geográfica.



**Usuários:** aqueles que usam o sistema e desenvolvem a sua implementação. Sem eles os SIG acabam por ter um valor limitado.

**Dados:** a parte mais importante num SIG é a informação nele contida. Sendo de extrema importância que seja uma informação de qualidade, por forma a que o sistema possa responder às questões que lhe são propostas da forma mais correcta.

**Hardware:** os programas de SIG funcionam numa grande variedade de configurações de computadores, desde sistemas centralizados até sistemas individuais ou em rede.

**Métodos:** para que o funcionamento de um SIG ocorra da forma mais correcta, é necessário que esteja baseado num desenho correcto e em regras de funcionamento bem definidas.

Figura 3.1 - Componentes de um SIG (adaptada de Llopis, 2008)

Tabela 3.1 - Aplicações de um SIG (Llopis, 2008)

|                    |                                                                                                                                                                     |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Científicas</b> | Ciências do meio-ambiente<br>Desenvolvimento de modelos empíricos<br>Modelação cartográfica<br>Modelos dinâmicos<br>Detecção remota                                 |
| <b>Gestão</b>      | Cartografia automática<br>Informação pública<br>Cadastro<br>Planeamento regional<br>Planeamento urbano<br>Ordenamento do território<br>Estudos de impacte ambiental |
| <b>Empresarial</b> | Marketing<br>Estratégia de distribuição<br>Transportes<br>Localização óptima de serviços                                                                            |

As ferramentas SIG permitem uma série de aplicações em áreas variadas como sejam a agricultura, ambiente, botânica, informática, economia, matemática, monitorização,

zoologia, geografia, e aplicações de carácter militar. No entanto, a tecnologia SIG afirmou-se como uma ferramenta de rotina para a visualização e análise de informação espacial, sendo usada de forma extensiva em aplicações como: cartografia de uso do solo (planeamento urbano); análise e planeamento de transportes (redes optimizadas de entregas e de emergência); análise geodemográfica (localização de serviços); cartografia de redes de infraestruturas (por exemplo gás, água e electricidade); aplicações para a gestão de recursos naturais; actualização de informação existente em base de dados; produção de cartografia temática; análises de redes temáticas; simulação de cenários biofísicos e geofísicos; modelação do terreno; avaliação de impacto ambiental; evolução e controlo da degradação do solo; gestão de recursos; gestão municipal (GeoPoint, 2007 *in* Ribeiro, 2008) e para traçado de percursos e localização de equipamentos (Costa, 2007).

De referir que apesar de todas estas actividades utilizam SIGs para encontrar soluções para problemas distintos, em todos estes casos são usadas tarefas comuns, tais como: organização de dados; visualização de dados; produção de mapas; consulta espacial; análise espacial; previsão e criação de modelos (Llopis, 2008).

### 3.3. Tipos de dados geográficos

Um dos principais problemas no desenvolvimento de um projecto de SIG é o de conseguir adaptar uma realidade complexa e contínua, para uma representação de forma mais simplificada e de elementos discretos. Assim, e tal como é apresentado na Figura 3.2, existem dois formatos de dados: formato vectorial e formato *raster*.

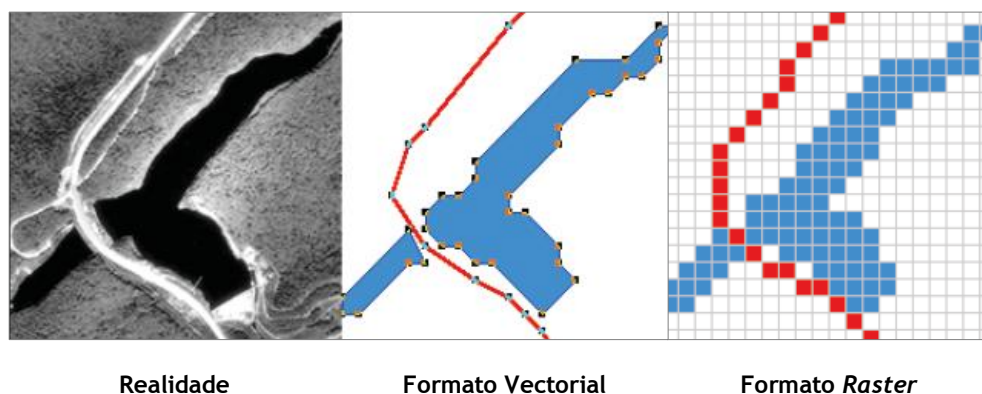


Figura 3.2 - Formatos digitais para representar os dados geográficos (adaptada de Llopis, 2008)

No formato Vectorial, a realidade é representada por um conjunto de objectos discretos (pontos, linhas e polígonos) aos quais se podem associar diversas propriedades. Neste modelo os objectos são codificados através da sua posição espacial (pontos e linhas) e pela posição da sua fronteira (polígonos). No formato *Raster*, a realidade é representada de forma contínua.

Neste modelo o espaço em análise é dividido em células ou pixéis de dimensão pré-definida e a cada um deles é atribuído um valor em função da variável considerada.

### ➤ Estrutura Vectorial

Os elementos que compõem este tipo de estrutura, para descrição da informação geográfica, são pontos, linhas e polígonos (Figura 3.3). Este tipo de estrutura é útil para representar estradas, rios, limites administrativos, edifícios, entre outros.

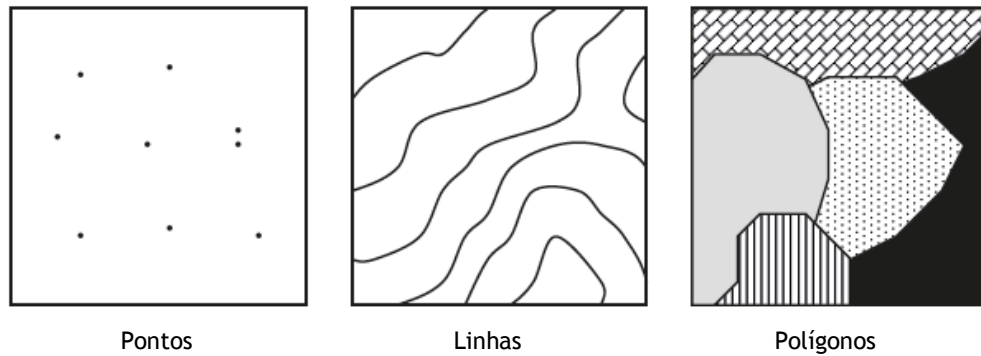


Figura 3.3 - Principais estruturas vectoriais (adaptada de Llopis, 2008)

Para Llopis (2008), o ponto é a estrutura vectorial mais simples, necessitando apenas de um par  $X, Y$  (posição) e em alguns casos um valor de  $Z$  (exemplos: estações de monitorização; localização de bocas de incêndio; locais de sinalização rodoviária; sedes de distrito, concelho ou freguesia). As linhas são definidas por um conjunto de pontos, cada um com as suas coordenadas  $X, Y$  e um valor para o atributo da linha (p.e. rede hidrográfica - nome do rio, código; rede viária - código da estrada, nível; redes de comunicações - tipo, débito; redes de abastecimento; redes de drenagem). Os polígonos são criados através da conexão dos denominados arcos, que são objectos que servem para representar linhas curvas ou não rectilíneas (p.e. divisões administrativas - população, nível de tratamento, entre outros; bacias hidrográficas - precipitação média, declive, entre outros; solo; geologia; uso do solo; entre outros).

Um SIG vectorial opera com objectos enquadrados nas classes de linhas, pontos e polígonos, sendo possível a utilização de objectos compostos agregando vários dos anteriores de natureza igual ou diferente. Os objectos podem ser geridos numa base de dados segundo o paradigma relacional, ou segundo o paradigma de orientação de objectos (Matos, 2008).

Na Tabela 3.2 são apresentadas as principais vantagens e desvantagens da estrutura vectorial baseadas em Llopis (2008):

Tabela 3.2 - Vantagens e desvantagens da estrutura vectorial (Llopis, 2008)

| Estrutura Vectorial                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vantagens                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Desvantagens                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Boa representação dos modelos de dados</li> <li>- Estrutura de dados compacta</li> <li>- Topologia descrita de forma explícita</li> <li>- Transformação de coordenadas simples</li> <li>- Representação gráfica precisa em qualquer escala</li> <li>- Possibilidade de actualização e generalização dos gráficos e atributos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Estrutura de dados complexa</li> <li>- Combinação de várias redes de polígonos por intersecção ou sobreposição difícil</li> <li>- Processos de interacção espacial mais complicados devido a que cada entidade espacial tem um sistema e forma diferentes</li> </ul> |

➤ **Estrutura Raster**

Neste tipo de estrutura a informação é representada através de um conjunto de unidades regulares (pixel), que formam um mosaico regular (Figura 3.4). A resolução do *raster* é a relação entre o tamanho do pixel e o tamanho que o pixel representa da realidade.

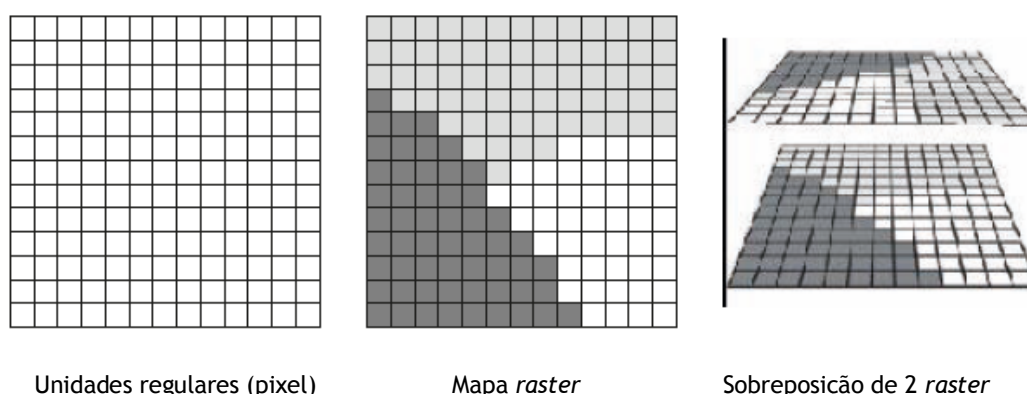


Figura 3.4 - Estrutura raster (Fonte: adaptada de Llopis, 2008)

Um SIG matricial utiliza uma partição do espaço em células, em geral rectangulares ou quadradas, identificadas por índices de linha e coluna numa matriz e às quais está associado um valor. A relação espacial entre células é estabelecida *a priori* pela estrutura matricial e as operações de análise e pesquisa tornam-se extremamente simples de implementar (Matos, 2008).

Na Tabela 3.3. são apresentadas as principais vantagens e desvantagens da estrutura *raster* baseadas em Llopis (2008):

Tabela 3.3 - Vantagens e desvantagens da estrutura *raster* (Llopis, 2008)

| Estrutura <i>Raster</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vantagens                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Desvantagens                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Estrutura de dados simples</li> <li>- Manipulação simples</li> <li>- Número variado de análises espaciais possíveis de realizar</li> <li>- Modelos matemáticos simples devido à forma simples e regular das entidades espaciais</li> <li>- Tecnologia barata</li> <li>- Várias formas de dados disponíveis</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Grande volume de dados</li> <li>- Requer maior capacidade de armazenamento</li> <li>- A utilização de píxeis de maior tamanho para redução do tamanho dos ficheiros leva a uma perda de resolução e por consequência de informação</li> <li>- Transformação de coordenadas difícil e demorada em termos de tempo</li> </ul> |

A digitalização de mapas em papel, o modelo digital do terreno (MDT), a fotografia aérea e imagens de satélite são exemplo de dados em formato matricial. Para Barbosa (2006) um MDT é visto como um modelo numérico que regista a configuração da superfície terrestre através da utilização dos valores de altitude acima de um certo Datum, e que também inclui linhas de fractura, pontos cotados ou outros atributos considerados relevantes na modelação da superfície do terreno.

O processo de construção de MDTs mais comum é o que se baseia na triangulação de um conjunto de pontos com distribuição irregular, sendo a superfície assim modelada por um conjunto de faces triangulares, sendo a altitude de qualquer ponto abrangido pelo modelo definida pela altitude do ponto da face triangular em que se insere, o que corresponde a uma interpolação bilinear dentro de cada triângulo (Matos, 2008). A triangulação entre pontos de altitude conhecida, sejam pontos cotados, curvas de nível ou de linhas tridimensionais, constituindo uma superfície de faces triangulares planas, é um processo fundamental na construção de MDT. A superfície gerada, denominada de rede irregular triangulada (RIT, ou TIN de *triangulated irregular network*), é por si mesma um modelo digital do terreno mas também um suporte habitual para a construção de modelos com outro tipo de estrutura, como sejam os modelos matriciais. A partir da construção do MDT, podem ser elaboradas, por exemplo cartas hipsométricas, de declives e de orientação de vertentes.

De acordo com (Naamani, 2002; Barbosa, 2006) os principais tipos de análise que podem ser efectuados sobre estruturas de dados matriciais são as seguintes:

- Análises de vizinhança, distância e proximidade (operações que permitem estruturar as relações de vizinhança que se estabelecem entre os diversos píxeis);
- análises de sobreposição e reclassificação (operações ligadas à organização da informação no sentido de facilitar a sua compreensão durante a visualização, sendo as operações mais comuns em matricial).

### 3.4. Fontes, introdução, manuseamento e georreferenciação de dados geográficos

Os dados geográficos a serem integrados numa base de dados geográfica, podem ter uma grande variedade de origens e formatos, ou seja, podem ser analógicos ou digitais (p.e. mapas; fotografia aérea; imagens de satélite; entre outros). A aquisição de informação pode estar disponível de forma digital via um servidor de dados ou pode também ser feita a digitalização de dados existentes em formato analógico.

A introdução manual dos dados numa base SIG pode ser dividida em quatro etapas (Llopis, 2008): a introdução de dados espaciais; introdução dos atributos dos dados; verificação dos dados e seus atributos; se necessário efectuar a ligação dos dados espaciais com os atributos.

Na distribuição de entidades no espaço, a natureza dos objectos é dada pelos seus atributos, a posição pela sua localização geográfica ou coordenadas, e as relações entre entidades em termos de proximidade ou conectividade pela topologia. Enumeram-se as principais operações com entidades geográficas discretas (vectoriais) que podem ser realizadas, dentro das operações matemáticas que resultam na transformação dos atributos:

- **Operações Lógicas:** Utilização de álgebra booleana, através de operadores lógicos (verdadeiro-falso) resultante das operações de união, intersecção, negação e exclusão de dois ou mais mapas.
- **Operações aritméticas:** através do uso de operações de adição, subtracção, multiplicação, divisão, potência, exponencial, logaritmo, raiz quadrada entre outras, obtêm-se novos atributos a partir dos dados iniciais existentes.
- **Operações trigonométricas:** aplicação de operações de seno, co-seno, tangente ou os seus inversos, obtendo-se assim novos atributos ou ainda a conversão de graus em radianos.
- **Operações estatísticas:** aplicações de operadores estatísticos (média, moda, mediana, desvio padrão, variância, mínimo, máximo, entre outros) a atributos de n entidades de forma a obter-se novos atributos.
- **Operações multivariadas:** aplicações de análise em componentes principais, regressão multivariada, análise factorial, entre outras.
- **Operações dependentes de conectividade:** são aquelas onde as entidades envolvidas estão directamente ligadas, podendo esta ligação ser espacial (A vizinho de B) ou (A ligado a B por uma rede topológica).
- **Operações de distância/localização:** são operações que permitem a definição de áreas de proximidade, também conhecidas como “buffering”. Através destas operações é possível marcar uma zona em torno da entidade original, onde os limites da zona (buffer) estão a uma determinada distância do limite da entidade original. Para Silva (2006; Naamani, 2002 in Ribeiro, 2008) podem realizar-se buffers (área tampão) a entidades ponto (define-se um círculo à volta do ponto), linha (define-se um polígono à volta da linha) ou áreas (define-se um novo polígono à volta da área), podendo também os buffers de entidades lineares ser realizados somente para um dos lados da entidade.

Por sua vez, as entidades geográficas contínuas proporcionam uma base de modelação espacial, em especial quando os dados estão inseridos numa malha de células quadradas e regulares. Como operações com entidades geométricas contínuas (*raster*), refere-se:

- **Operações de álgebra de mapas:** os métodos de álgebra e mapas permitem realizar operações matemáticas entre vários mapas em formato raster (através da sobreposição dos mapas) que facilita bastante a criação de modelos numéricos. Os mapas a cruzar devem estar todos referenciados no mesmo sistema geométrico e terem o mesmo número de células.

A álgebra de mapas, considera mapas ou “layers”, como variáveis susceptíveis de serem integradas em operação algébrica (considerando uma avaliação do contexto de análise espacial), cujo resultado expresse um determinado objectivo de avaliação ou modelação. A modelação geográfica pode ser descrita como um método que permite estruturar a informação a ser utilizada constituindo-se como uma forma de analisar e determinar funções e/ou operações de análise espacial disponíveis no sistema visando a resolução de um determinado problema de natureza espacial. Assim, um processo de modelação geográfica, baseado em álgebra de mapas, assemelha-se a uma integração de operações de análise espacial em que as variáveis (dados, informação) são estruturados e definidos/avaliados, visado a sua adequação ao contexto de objectivos de análise espacial (Costa, 2007).

Para Matos (2008), as funções de análise espacial podem dividir-se nos seguintes cinco grupos:

- Funções de sobreposição: união, intersecção, identidade, actualização e corte;
- funções de proximidade: *buffer* (ou envolvente), ponto mais próximo;
- funções sobre redes: rede acessível, polígono acessível, caminho mais curto; circuitos;
- funções de extracção e fusão: extracção por atributos, extracção por temas de polígonos, fusão por atributos;
- funções estatísticas: sumários estatísticos.

A sobreposição de mapas (*Overlay*) é uma das operações com maior grau de importância, e também uma das mais aplicadas em análise espacial. Esta operação pode ser realizada em modelo de dados vectorial ou matricial (Figura 3.5).

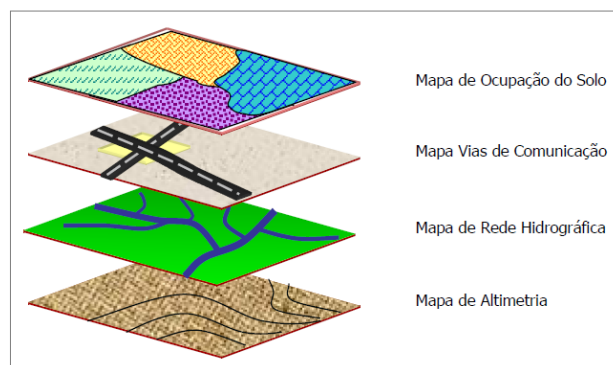


Figura 3.5 - Operações de sobreposição de temas (Ribeiro, 2008)

A consulta (*Query*) é uma ferramenta de SIG que permite inquirir a base de dados de acordo com determinados critérios definidos pelo utilizador. Para Costa (2007), na operação de reclassificação é criado um novo mapa através da mudança dos valores (atributos) das células do mapa original, existindo quatro possibilidades para a reclassificação, dependendo da finalidade do processo:

- Associar um novo valor a cada valor do mapa de entrada com o objectivo de criar uma máscara binária (0 e 1) para uso subsequente;
- associar novos valores a classes ou gamas de valores, com o intuito de diminuir o número de classes original ou agrupar valores em categorias;
- associar ordens (níveis de importância) a valores ou categorias únicos no mapa original;
- associar ordens ou pesos a um mapa qualitativo para gerar um mapa quantitativo.

Independentemente da forma como a informação geográfica é estruturada ou apresentada, a atribuição de coordenadas a pontos é indissociável do processo de representação geográfica (Matos, 2008). Num SIG, ao realizar-se a representação de entidades do mundo real, é necessário ter a referência espacial desses dados relativamente à sua posição correcta na superfície terrestre (Llopis, 2008). Assim, georreferenciar é o processo de estabelecer uma relação entre os dados contidos no SIG e a sua posição no mundo real. Em Portugal existem dois sistemas de coordenadas fundamentais baseados na projecção de Gauss-Kruger<sup>5</sup>.

### 3.5. Modelos de localização

Os modelos de localização podem ser definidos como métodos, matemáticos ou não, que apresentam ferramentas capazes de determinar, com maior ou menor precisão, local(ais) para a localização de um determinado equipamento (por exemplo aeroportos, centros comerciais, escolas, centros de armazenamento de resíduos, entre outros), tendo em consideração a conjugação de diversos factores (variáveis) determinantes na análise. A localização dos objectos está dependente da especificidade do problema, pois existem casos onde o objectivo é localizar os objectos (equipamentos) perto de certos locais, minimizando assim os custos do transporte e o tempo de percurso, e noutros casos, pretende-se, por exemplo, ter um certo equipamento afastado de linhas de água, para reduzir a sua poluição, ou longe de povoações, no sentido de minimizar problemas para as populações.

Os modelos de localização podem ser utilizados também para determinar a aptidão do solo para a localização de equipamentos industriais, tratando-se de um processo de decisão, através do qual se pretende comparar diferentes alternativas espaciais para a instalação de

---

<sup>5</sup> 1) Hayford-Gauss do datum Lisboa (HGLx), que corresponde à projecção do elipsóide de Hayford posicionado pelo DtLx. Não se trata de um sistema usado actualmente na produção de cartografia; 2) Hayford-Gauss Militar (HGM), sistema derivado do HGLx e que se obtém desse sistema através de uma translação da origem das coordenadas cartográficas de modo a tornar positivas as coordenadas de todo o território nacional.

unidades industriais ou, de uma forma mais geral, para identificar áreas de um território que apresentam maior aptidão para o uso industrial (Ribeiro, 2008). Ramos e Mendes (2001) avaliaram a aptidão do solo para a localização de áreas industriais, sujeito a um conjunto de critérios, introduzindo a análise multicritério no sistema de localização.

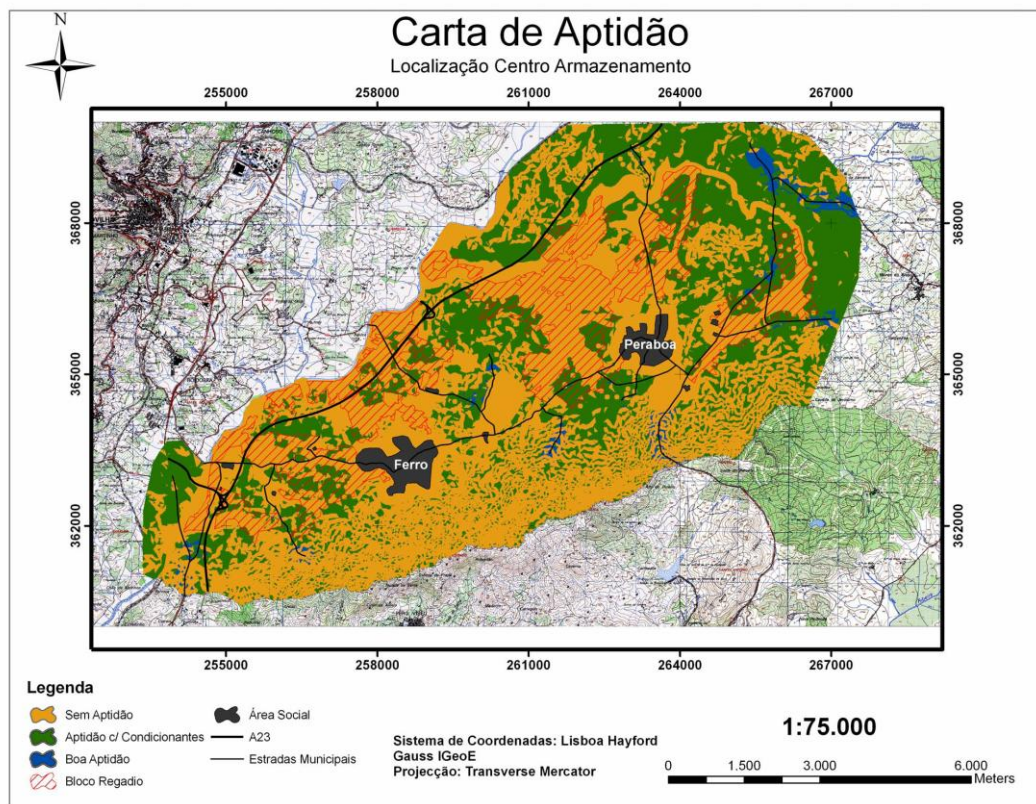
A avaliação multicritério pode ser implementada num SIG através de um de dois procedimentos. O primeiro envolve a sobreposição booleana, na qual todos os critérios são reduzidos a declarações lógicas de aptidão (isto é, classificados de forma binária: 0/1) e então combinados por via de operadores lógicos como a intersecção (AND) e a união (OR). O segundo envolve a combinação de critérios contínuos (factores), através da normalização para uma escala comum e da aplicação de pesos para obter médias pesadas. Por razões que remontam à facilidade com que estas abordagens podem ser implementadas, a sobreposição booleana tem dominado as aplicações em SIG vectoriais, enquanto a combinação de critérios contínuos domina as aplicações em SIG *raster*.

A implementação do modelo corresponde, num SIG *raster*, ao processamento de cada pixel numa imagem *raster* representativa do território em estudo, permitindo obter mapas contínuos de aptidão para a localização industrial, quer global (final) quer por níveis de análise (ou seja, por grupos de factores). Por outras palavras, cada pixel é potencialmente uma alternativa para a localização da actividade industrial, pelo que, em função das características da parcela de solo que representa, é submetido a uma avaliação multicritério que determina a sua aptidão (Ramos e Mendes, 2001).

Costa (2007), utilizou SIGs para a localização de uma ETAR, tendo sido aplicadas operações booleanas para as exclusões (reclassificações binárias para a REN, RAN, e Matas), bem como utilizada a álgebra de mapas para as variáveis (factores), representando cada célula, após a sobreposição, uma escala de aptidão. Luz (2003) desenvolveu um SIG para a elaboração de cartas de aptidão para culturas agrícolas em Timor-Leste. Riscado (2007) desenvolveu várias cartas de susceptibilidade aos movimentos de terrenos, sobrepondo diversas cartas temáticas e utilizando também o método de álgebra de mapas.

Também Ribeiro (2008) desenvolveu estudos para selecção de solos do perímetro de regadio da Cova da Beira (Bloco da Covilhã) para aplicação de lamas celulósicas com recurso a SIG. Nestes estudos [Ribeiro *et al.* (2008), Ribeiro *et al.* (2010a) e Ribeiro *et al.* (2010b)] desenvolveu-se uma carta de aptidão através de uma análise multicritério por sobreposição booleana de variáveis, que consistiu na sua reclassificação (cartas temáticas) na forma binária, tendo estas sido posteriormente combinadas de acordo com operações lógicas de intersecção e união de carácter inclusivo (áreas de possível aptidão) e exclusivo (áreas sem aptidão). A elaboração da Carta de Aptidão englobou a utilização de oito cartas temáticas (RAN, REN, agricultura biológica, perímetro urbano, captações de água, linhas de água, rede viária e declives). Tendo em consideração os pesos atribuídos e a combinação da

multiplicação de factores foram definidas três classes de aptidão: 0 (sem aptidão), 1 a 1024 (aptidão com condicionantes) e 1024 a 3125 (boa aptidão) (Figura 3.6).



**Figura 3.6** - Exemplo de uma Carta de aptidão para a reutilização de lamas celulósicas (Bloco da Covilhã) (Ribeiro, 2008; Ribeiro *et al.*, 2010a; Ribeiro *et al.*, 2010b)

Assim, a utilização de SIG permitiu georreferenciar, armazenar, tratar e manipular informação complexa, quer relacionada com as lamas celulósicas, quer relacionada com as características biofísicas da zona de estudo, o que possibilitou a criação de uma base de dados muito útil para a gestão da aplicação do resíduo. Assim, a partir de oito cartas temáticas e da definição de zonas de exclusão, definiram um índice de aptidão e produziram uma carta de aptidão para reutilização de lamas celulósicas em áreas agrícolas afectas ao Regadio do Bloco da Covilhã.

Abordagens similares foram as de Basnet *et al.* (2001), para aplicação de resíduos de origem animal na agricultura, Zhao *et al.* (2009,) para localizar ETAR em áreas com várias restrições ambientais, e Kallali *et al.* (2007), para seleccionar locais para a recarga de aquíferos no nordeste da Tunísia. Cavaleiro *et al.* (2006a) também usaram SIG para produção de mapas geotécnicos na área da Covilhã, tendo como propósito um mapa de aptidão para a construção.

Um estudo de Albuquerque *et al.* (2006) mostrou que a cartografia elaborada com recurso a SIG, beneficiando da sua capacidade par armazenar dados (por exemplo, climatológicos,

agrícolas e de qualidade da água), permitiu manipular e analisar informação, tendo sido fundamental para a selecção das parcelas agrícolas com potencial para a reutilização de águas residuais tratadas na região da Cova da Beira.

Segundo Costa (2007), com o desenvolvimento dos SIG, surgiu um novo modelo de dados espaciais, o Geodatabase, que apresenta um conjunto de características de primordial importância no contexto do desenvolvimento de processos de modelação geográfica. Criado numa perspectiva integradora de inúmeras soluções e tirando partido da flexibilidade e desenvolvimento inerente aos sistemas de gestão de bases de dados, este modelo integra um conjunto de novas premissas e contribuições significativas para o processo de concepção de bases informativas assentes num modelo de dados espaciais.

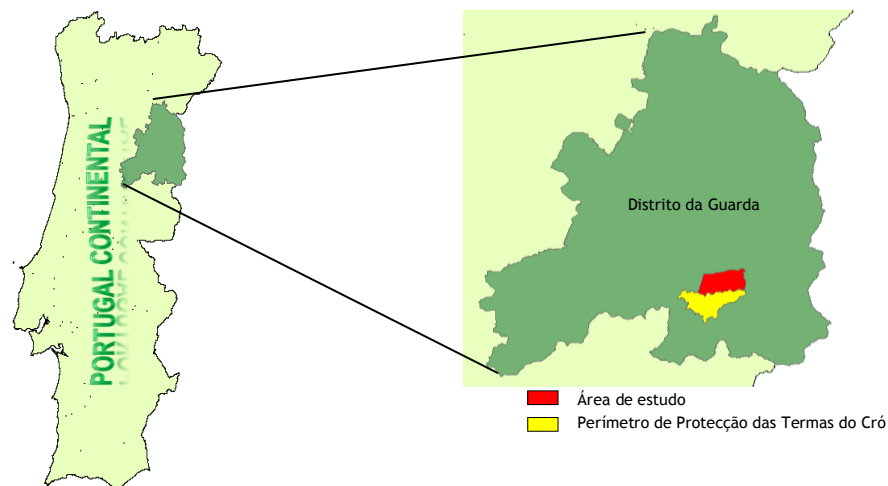
Para Neves *et al.* (2006) o Geodatabase, especialmente orientado para a concepção e gestão de processos que assegurem uma correcta exploração analítica, integra a possibilidade de implementação de um conjunto de relações e regras entre as entidades e classes de entidades que, visando essencialmente criar uma estrutura robusta e fiável de informação geográfica, permitem a construção de arquitecturas sistémicas com uma grande variedade de possibilidades de exploração. Assim, o ambiente de desenvolvimento do Geodatabase constitui um importante contributo na definição de modelos de dados temáticos ou aplicados altamente especializados integrando uma predefinição da funcionalização sistémica das entidades orientadas para o desenvolvimento de processos de análise espacial e modelação geográfica.

## Capítulo 4

### Material e Métodos

#### 4.1. Identificação e caracterização da área de estudo

Para a selecção e identificação da área de estudo, foi considerado o limite superior do perímetro de protecção das Termas do Cró, pertencente ao concelho do Sabugal e distrito da Guarda (Portugal) e uma fonte de águas residuais tratadas a utilizar na recarga de aquíferos (ETAR de Vila Fernando no distrito da Guarda). Vila Fernando é uma freguesia do concelho e distrito da Guarda (Figura 4.1), com uma área total de 15,97Km<sup>2</sup>, composta por Vila Fernando e Vila Fernando Gare separadas pelo Rio Noeme, um afluente do Rio Côa, que por sua vez é ele também um afluente do rio Douro (Santos, 2010).



**Figura 4.1** - Localização da área de estudo, Vila Fernando, distrito da Guarda (Portugal)

Para proceder à delimitação da área de estudo, foi usada a seguinte cartografia digital:

- Extracto das Cartas Militares n.ºs 192, 193, 194, 203, 204, 214, 215, 225 e 226 (Escala original 1:25000; Fonte de Informação: Instituto Geográfico do Exército/UBI; Tipo de Informação: Matricial);
- Perímetro de Protecção das Termas do Cró (Escala original 1:25000; Fonte de Informação: UBI; Tipo de Informação: Vectorial/Shapefile);
- Altimetria (Escala original 1:25000; Fonte de Informação: UBI; Tipo de Informação: Vectorial/Shapefile);
- Ortofotomapas (voos fotogramétricos de 2002, 2003 e 2004; Escala original 1:5000; Fonte de Informação: UBI; Tipo de Informação: Matricial);

- Carta de Ocupação do Solo (Carta Corine Land Cover) (Escala original 1:25000; Fonte de Informação: Instituto do Ambiente/UBI; Tipo de Informação: Vectorial/Shapefile);
- Carta de Solos de Portugal Continental (Escala original 1:100000; Fonte de Informação: Instituto do Ambiente/UBI; Tipo de Informação: Vectorial/Shapefile).

A área localiza-se no noroeste da região da Beira Interior, no distrito da Guarda, com altitudes que variam entre 710m e 875m. O clima é continental com uma precipitação média anual de 780mm, evapotranspiração média de 700 mm, esperando-se um défice de água durante o período de Junho a Setembro. A temperatura média é de 10,7 °C (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 - Precipitação média (P), Evapotranspiração potencial (ETp) e défice na área de estudo no período 1965-1994 (Cavaleiro, 2002)

| Meses     | Precipitação média (P)<br>(mm) | Evapotranspiração<br>potencial (ETp)<br>(mm) | Défice<br>(mm) |
|-----------|--------------------------------|----------------------------------------------|----------------|
| Janeiro   | 101                            | 10.5                                         | 90.4           |
| Fevereiro | 104                            | 15.1                                         | 88.8           |
| Março     | 47.1                           | 28.9                                         | 18.1           |
| Abril     | 70.5                           | 45.5                                         | 24.9           |
| Maió      | 69.2                           | 67.1                                         | 2              |
| Junho     | 37.9                           | 105.6                                        | -67.7          |
| Julho     | 12.5                           | 127.2                                        | -114.7         |
| Agosto    | 10.6                           | 119.7                                        | -109.1         |
| Setembro  | 35.9                           | 90                                           | -54.1          |
| Outubro   | 99.1                           | 52.8                                         | 46.2           |
| Novembro  | 105.4                          | 25.2                                         | 80.1           |
| Dezembro  | 90.9                           | 11.7                                         | 79.1           |
| Total     | 784.1                          | 699.8                                        | 84.2           |

#### 4.1.1. Caracterização geológica e geomorfológica

De acordo com Cavaleiro (2002) e Cavaleiro *et al.* (2006b), geologicamente a região na qual se insere a área de estudo está cartografada na carta geológica de Portugal à escala 1:500000 como pertencente ao maciço Hespérico, de idade Paleozóica ou mais antiga. Os terrenos Paleozóicos enquadram-se na Zona Centro Ibérica. Os terrenos apresentam uma estrutura condicionada pelas fases de deformação dúctil da orogenia Hercínica, que regionalmente apresenta uma clara predominância dos efeitos da 1ª fase. A litologia predominante é um granito monzonítico de grão grosseiro a médio com tendência porfiróide. As aluviões são de reduzida espessura e os terraços fluviais encontram-se mal conservados devido às práticas de agricultura em tempos mais recuados.

No que respeita à tectónica a região denuncia uma forte acção de agentes internos, pelo facto dos rios da região seguirem direcções tectónicas preferenciais. Tais acções tectónicas deram origem a uma fracturação interna do maciço e permitiram a instalação de filões pegmatíticos e aplitopegmatíticos ao longo das fracturas. Também acções tectónicas relacionadas com a orogenia alpina deram origem à instalação de filões hipotermiais de quartzo. A fracturação do maciço a nível da zona de recarga é elevada permitindo supor

capacidades importantes a nível da função transmissiva do reservatório. Em termos geomorfológicos a área de estudo apresenta uma topografia bastante acidentada com a existência de numerosos cabeços graníticos encimados por caos de blocos.

### ➤ Tipo de Solos

O solo é o principal suporte físico das actividades humanas, seja nas instalações de actividades dirigidas ao aproveitamento de seu potencial produtivo, de actividades construtivas, industriais e técnicas. Os solos dominantes na área de estudo são os antrossolos (que ocupam cerca de 61,81%), seguindo-se os Umbrissolos (22,56%), Regossolos (13,94%) e Cambissolos (1,69%) (Figura 4.2).

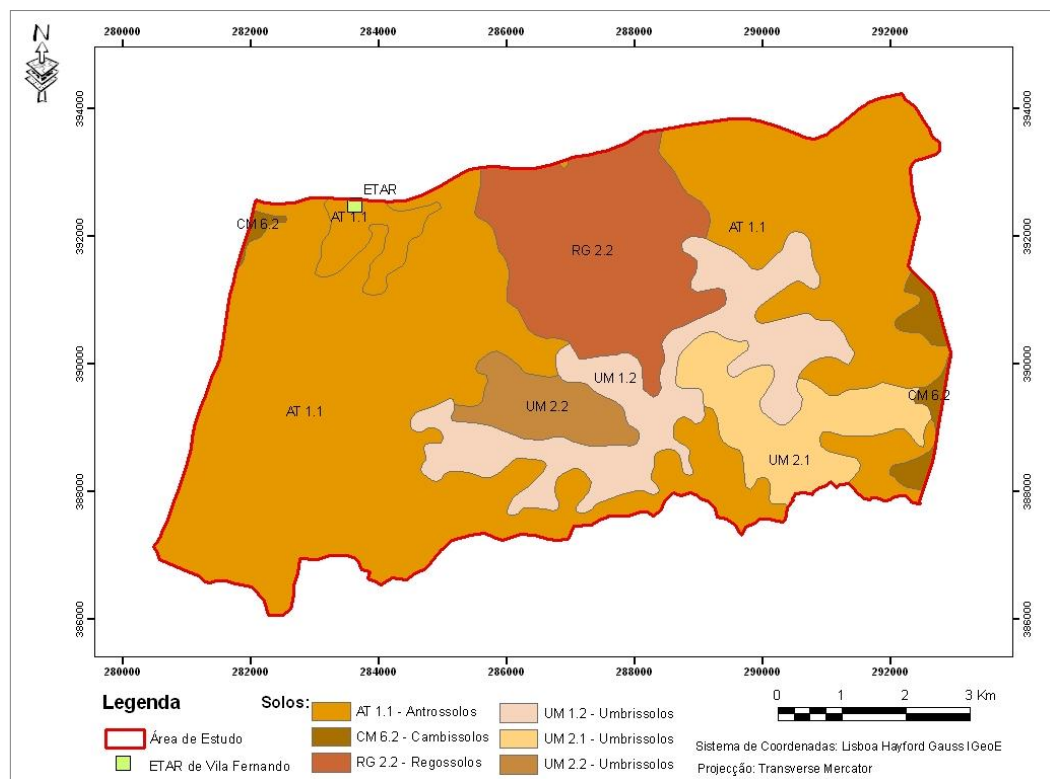


Figura 4.2 - Tipo de solos presentes na área de estudo (Instituto do Ambiente/UBI)

### ➤ Ocupação do Solo

De acordo com a Carta de Ocupação do Solo (Corine Land Cover), e relativamente à área em estudo, a ocupação do solo está dividida em Agricultura com espaços naturais e semi-naturais (28,17%), Culturas temporárias de sequeiro (1,87%), Florestas abertas, cortes e novas plantações (30,61%), Florestas de folhosas (5,29%), Matos (1,51%), Pastagens permanentes (2,67%), Sistemas culturais e parcelares complexos (21,64%) e Vegetação herbácea natural (8,24%) (Figura 4.3).

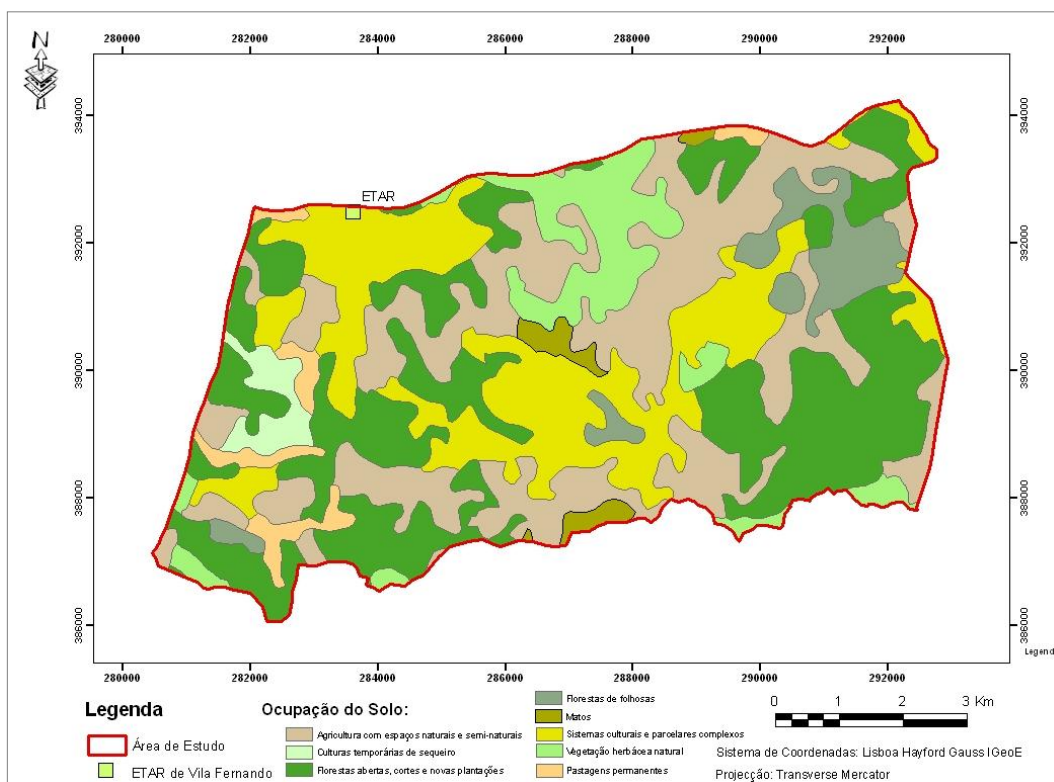


Figura 4.3 - Ocupação do solo presente na área de estudo (Instituto do Ambiente/UBI)

#### 4.1.2. Caracterização hidrogeológica

Como referem Cavaleiro (2002) e Cavaleiro *et al.* (2006b), a área hidrogeológica pertence a uma sub-bacia hidrográfica com uma área de aproximadamente 8017 ha, cortada por inúmeras linhas de água, tributárias da Ribeira de Boi e afluentes da margem esquerda do Rio Côa. A principal característica da bacia é o aquífero hidromineral que alimenta as Termas do Cró (água sulfurosa). Estas Termas são alimentadas principalmente por dois poços (P1 e P2), cujas características são apresentadas na Tabela 4.2. A profundidade do aquífero varia entre 10 e 50 m (Pedrero *et al.*, 2011).

Tabela 4.2 - Características da água termal das Termas do Cró (Cavaleiro, 2002)

| Poços | Coordenadas |       | Cota (m) | Temperatura (°C) | Condutividade (dS m <sup>-1</sup> ) | pH  | Profundidade (m) |
|-------|-------------|-------|----------|------------------|-------------------------------------|-----|------------------|
|       | M           | P     |          |                  |                                     |     |                  |
| P1    | 92330       | 86669 | 683      | 12               | 0.104                               | 6.6 | 7                |
| P2    | 92831       | 86500 | 690      | 11.6             | 0.110                               | 6.4 | 4                |

De referir que a recarga ocorre ao longo de toda a bacia com uma área de 8 017 ha, infiltrando-se a uma profundidade considerável no maciço bastante fracturado para que os fluidos quentes possam ascender em segmentos “abertos” das megafracturas em compressão

e acabando por ascender também nas fracturas em distensão, vulgarmente designadas por “nó tectónico” ou seja nas fracturas conjugadas (Cavaleiro, 2002; Cavaleiro *et al.*, 2006b).

#### 4.1.3. Caracterização sumária da ETAR de Vila Fernando

A ETAR de Vila Fernando está incluída no sistema Multimunicipal de saneamento do Alto Zêzere e Côa e localiza-se nas proximidades de Vila Fernando. Foi dimensionada para um horizonte de 40 anos e entrou em funcionamento em Abril de 2007 (Santos, 2010).

É constituída pelos níveis de tratamento preliminar (um canal de grades com desarenador gravítico de secção rectangular e um medidor de caudal do tipo Venturi), primário (um tanque Imhoff de secção circular) e secundário (dois leitos de macrófitas em paralelo) (Figura 4.4). A descarga do efluente tratado é realizada num afluente do Rio Noeme. As lamas, depois de digeridas do tanque Imhoff, são descarregadas por pressão hidrostática em leitos de secagem para a sua desidratação final (Figura 4.4).

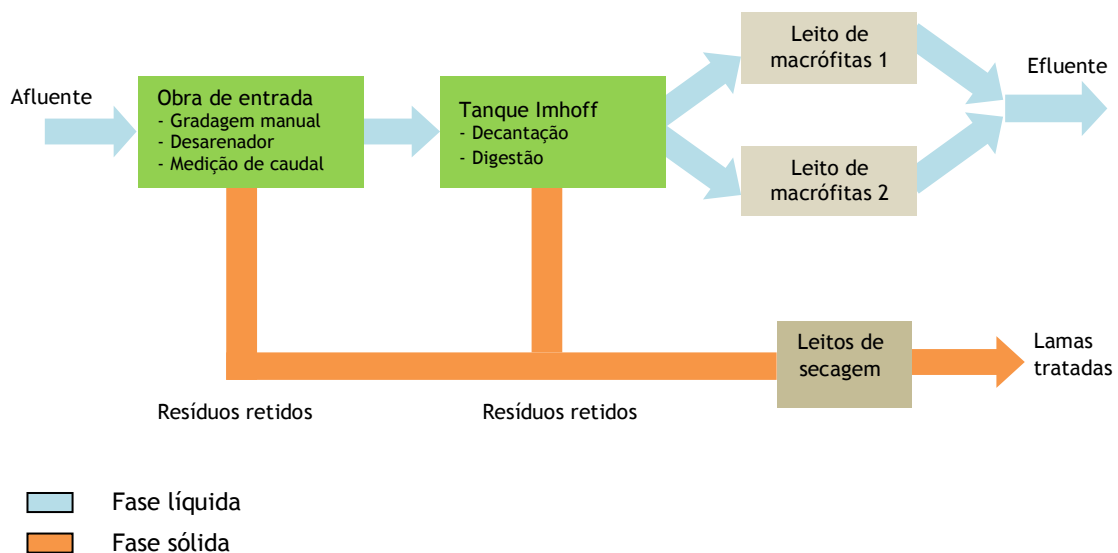


Figura 4.4 - Representação esquemática da ETAR de Vila Fernando, (adaptada de Simões, 2009; Santos, 2010)

#### 4.1.4. Águas residuais tratadas para reutilização

Para este estudo foram importantes os resultados obtidos numa campanha de monitorização realizada no âmbito do projecto EVAWET, que decorreu entre Novembro de 2007 e Novembro de 2009, à qualidade das águas residuais tratadas provenientes da ETAR de Vila Fernando, apresentando-se os resultados no *Capítulo 5*. Estes dados já estavam disponíveis no início da dissertação e foi apenas necessário organizá-los e avaliar o seu potencial para utilização na recarga de aquíferos da zona de estudo.

A campanha englobou a medição diária de caudal afluyente à ETAR e a recolha de amostras quinzenais, à entrada e saída da ETAR, para determinação dos seguintes parâmetros: pH, temperatura, carência bioquímica de oxigénio (CBO<sub>5</sub>), carência química de oxigénio (CQO), sólidos suspensos totais (SST), azoto amoniacal (N-NH<sub>4</sub>), azoto nítrico (N-NO<sub>3</sub>), azoto total (NT), fósforo total (PT), condutividade eléctrica (CE), sódio (Na), cálcio (Ca), potássio (K), cloro (Cl), coliformes totais (CT), coliformes fecais (CF), E. Coli e ovos de Heminta (OH). Nas últimas 3 amostragens, foi também determinado o magnésio (Mg), boro (B), cádmio (Cd), crómio (Cr), cobalto (Co), níquel (Ni), chumbo (Pb) e zinco (Zn). As análises foram realizadas no DEC do IPG.

## 4.2. Identificação de potenciais áreas para recarga de aquíferos

Esta etapa incluiu a identificação de áreas com potencial para a recarga de aquíferos tendo em atenção restrições ambientais, técnicas e económicas, bem como o perímetro de protecção das Termas do Cró e a fonte de água a reutilizar (ETAR de Vila Fernando). A selecção das variáveis consideradas em cada um dos critérios teve por base procedimentos seguidos por especialistas, regras internacionais e documentos técnicos (State of Califórnia, 1992; Pescod, 1992; Angelakis *et al.*, 2003; EPA, 2006; Bixio e Wintgens, 2006; Asano *et al.*, 2007; Kallali *et al.*, 2007; Marecos do Monte e Albuquerque, 2010; Pedrero *et al.*, 2011). De seguida apresentam-se as variáveis consideradas em cada um dos critérios ambiental, técnico e económico.

- **Critério ambiental:** para evitar contaminação por infiltração de águas residuais tratadas, deve ser considerada uma distância de segurança de 50 m relativamente a captações de água para rega, uma distância de segurança de 100 m relativamente a captações de água para consumo humano (100 m de linhas de água e de depósitos de água); deve ser considerada uma distância de 200 m relativamente a aglomerados populacionais, para salvaguardar estas áreas de possíveis contaminações (Decreto-lei n.º118/2006 de 21 de Junho);
- **Critério técnico:** uso ou ocupação do solo (foi usada a Carta de Ocupação do Solo - Corine Land Cover), para avaliar o potencial uso do solo; declives (as áreas para infiltração deverão ter um declive situado entre 0% e 12%, uma vez que declives mais elevados aumentam o escoamento, a erosão do solo e geram instabilidade no solo; textura do solo: as zonas não saturadas não devem conter camadas de argila e outros solos que possam restringir o movimento descendente da água. Para evitar o entupimento dos solos e para assegurar o tratamento da água residual, o solo deve ter uma fracção baixa de argila, nomeadamente menos de 10% de argila; tipo de solo: o solo para infiltração de água residual tratada não deve ter rocha no topo, uma vez que grande parte da melhoria da qualidade da água reutilizada ocorre no primeiro metro de solo; profundidade do aquífero: o aquífero deverá ser suficientemente profundo e transmissivo para prevenir aumentos excessivos de água no solo devido à infiltração. O mínimo nível estático de água do solo aceitável para infiltração de água

residual tratada são 5m, para poder ter uma zona não saturada suficiente para purificação da água residual.

- **Critério económico:** de modo a diminuir os custos de deslocação das águas residuais tratadas desde a ETAR até ao possível local de aplicação das referidas águas, deve existir uma distância máxima de 8 Km;

Os elementos com restrições foram localizados e georreferenciados (ou seja: rede hidrográfica, captações de água para rega e consumo humano, aglomerados urbanos e declives).

Tendo por base a informação recolhida, alguma confirmada no local em visitas de campo, foram desenvolvidas as seguintes tarefas:

- Transformação de alguma informação de formato analógico para formato digital;
- edição e tratamento da informação digital;
- construção de um modelo geográfico;
- criação de novas cartas a partir da cartografia base;
- análise espacial da cartografia criada;
- estruturação da informação cartográfica e alfanumérica (Base de Dados);
- análise e discussão dos resultados obtidos da análise espacial e construção do modelo geográfico.

A análise da informação foi realizada usando o software *ArcGIS 9.2* (aplicativos *ArcCatalog*, *ArcMap* e *ArcToolbox*) para as seguintes aplicações:

- Integração e gestão de dados espaciais (Matricial ou Vectorial) e não espaciais;
- edição de dados e de entidades geográficas;
- sobreposição (*Overlay*) de temas de informação (*layers*);
- análise espacial (*Spatial Analyst*);
- concepção de carta de declives (*3D Analyst*);
- definição de uma zona de protecção na fronteira de uma entidade geográfica, com recurso à área de vizinhança (*Buffer*);
- consulta (*Query*) de bases de dados de acordo com os critérios pretendidos;
- georreferenciação de determinados elementos ou entidades;
- geoprocessamento da informação recolhida para confinar a informação cartográfica apenas à área de estudo seleccionada;
- determinação de locais com aptidão para infiltração de água residual tratada, recorrendo à álgebra de mapas (*Raster Calculator*).

Deste modo, com base na informação e cartografia recolhidas, quer em formato matricial, quer em formato vectorial, foram desenvolvidas as seguintes tarefas:

- Levantamento de áreas com potencial para infiltração de águas residuais tratadas;

- elaboração de uma carta de aptidão para reutilização de águas residuais tratadas na recarga de aquíferos;
- selecção de um local com potencial para infiltração de águas residuais tratadas.

# Capítulo 5

## Resultados e Discussão

### 5.1. Área de estudo

A área geográfica seleccionada para realização do estudo desenvolve-se entre a ETAR de Vila Fernando e o limite superior do perímetro de protecção das Termas do Cró, variando as altitudes entre 710 e 875 metros (Figura 5.1). Foi definida a partir da digitalização e georreferenciação das Cartas Militares nºs 192, 193, 194, 203, 204, 214, 215, 225 e 226 tendo sido necessário sobrepor elementos cartográficos. A área total é de 6 687,1 ha.

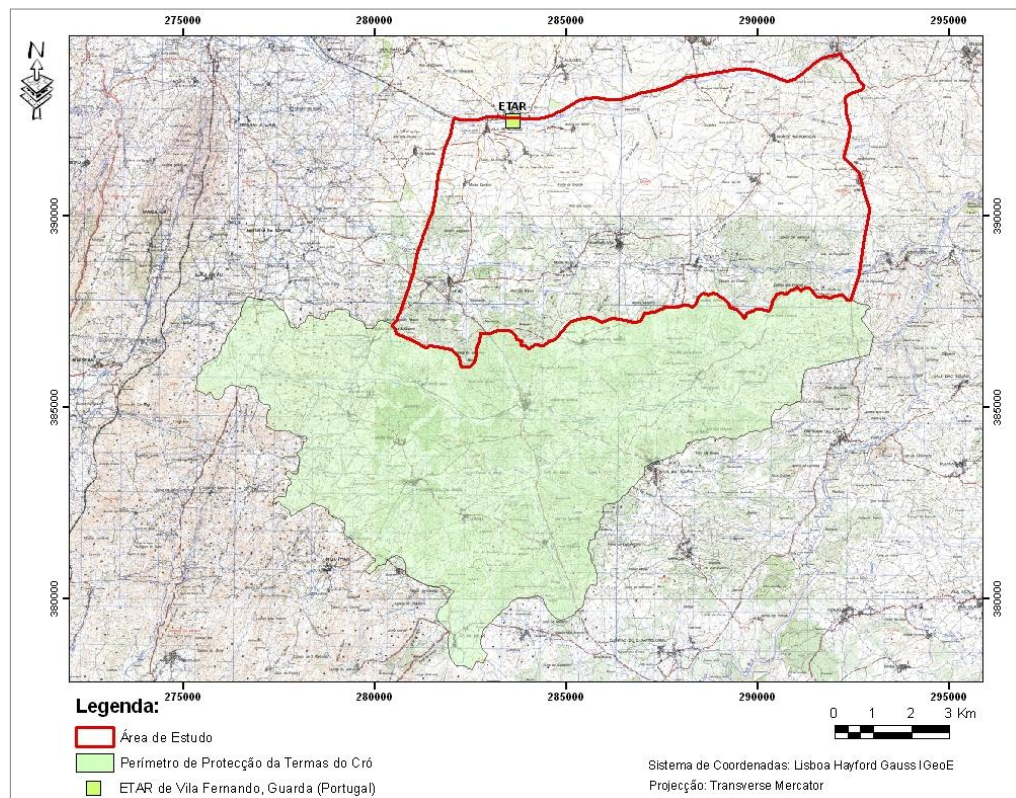


Figura 5.1 - Localização da área de estudo

### 5.2. Análise da água residual tratada para reutilização

Da campanha de monitorização realizada durante um período de 21 meses (Novembro de 2007 a Novembro de 2009) ao sistema de tratamento de águas residuais de Vila Fernando, verifica-se que 21 500 m<sup>3</sup>/ano de água residual tratada podem ser usados para a RAQ sem qualquer tratamento adicional. Os resultados das análises físicas, químicas e microbiológicas são apresentados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Características das águas residuais tratadas da ETAR de Vila Fernando (2008-2009)

| Parâmetros                      | Afluente <sup>(1)</sup>       | Efluente <sup>(1)</sup><br>(ART) |
|---------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| Caudal (m <sup>3</sup> /d)      | 58,9 ± 26,0                   | -                                |
| Temperatura (°C)                | 15,6 - 3,8                    | 15,3 - 3,9                       |
| pH                              | 6,2 - 7,3                     | 6,3 - 7,7                        |
| CE (dS/m)                       | 0,22 ± 0,02                   | 0,22 ± 0,02                      |
| CBO <sub>5</sub> (mg/L)         | 105,7 ± 32,1                  | 27,4 ± 7,2                       |
| CQO (mg/L)                      | 265,2 ± 79,8                  | 83,9 ± 13,0                      |
| SST (mg/L)                      | 64,0 ± 19,2                   | 27,1 ± 18,3                      |
| N-NH <sub>4</sub> (mg/L)        | 60,3 ± 5,8                    | 54,4 ± 7,4                       |
| N-NO <sub>3</sub> (mg/L)        | 1,7 ± 1,5                     | 0,8 ± 0,5                        |
| NT (mg/L)                       | 74,2 ± 16,1                   | 60,7 ± 13,8                      |
| PT (mg/L)                       | 9,5 ± 2,2                     | 6,9 ± 1,3                        |
| Na (mg/L)                       | 110,9 ± 14,4                  | 118,7 ± 11,4                     |
| Mg (mg/L)                       | 0,23                          | 0,21                             |
| Ca (mg/L)                       | 19,5 ± 2,4                    | 23,6 ± 3,1                       |
| K (mg/L)                        | 30,2 ± 4,6                    | 28,4 ± 5,3                       |
| Cl (mg/L)                       | 83,7 ± 31,3                   | 79,5 ± 32,5                      |
| B (mg/L)                        | <0,02                         | <0,02                            |
| Cd (mg/L)                       | <0,02                         | <0,02                            |
| Cr (mg/L)                       | 1,1 ± 0,2                     | <0,1                             |
| Co (mg/L)                       | 0,05 ± 0,01                   | 0,01 ± 0,00                      |
| Ni (mg/L)                       | 0,23 ± 0,04                   | 0,05 ± 0,01                      |
| Pb (mg/L)                       | 0,03 ± 0,01                   | <0,01                            |
| Zn (mg/L)                       | 0,01 ± 0,00                   | < 0,01                           |
| CT (NTU/100 mL)                 | 1,79 × 10 <sup>7</sup> ± 1120 | 1,95 × 10 <sup>6</sup> ± 980     |
| CF (NTU/100 mL)                 | 3,78 × 10 <sup>6</sup> ± 458  | 6,91 × 10 <sup>5</sup> ± 652     |
| E.Coli (NTU/100 mL)             | 5,02 × 10 <sup>6</sup> ± 879  | 1,05 × 10 <sup>4</sup> ± 540     |
| OH (n° ovos 10L <sup>-1</sup> ) | <10                           | <10                              |

<sup>(1)</sup> Média e intervalo de confiança (calculado para um nível de confiança de 95% e o seguinte número de amostras: 40 (caudal, temperatura, pH, CBO<sub>5</sub>, CQO, SST, N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub>, NT, PT, Na, Ca, K e Cl), 10 (CE e CT, CF), 6 (OH, E.Coli, Mg, B, Cd, Cr, Co, Ni, Pb e Zn)

Os resultados permitem verificar que as concentrações de azoto total (NT), azoto amoniacal (N-NH<sub>4</sub>) e fósforo total (PT) seriam elevadas para descarga em meio hídrico, ou até para rega agrícola. A concentração de compostos inorgânicos e a carga microbológica são similares à dos efluentes secundários caracterizados por Pedrero (2010) na região de Múrcia (Espanha). Se a aplicação fosse para fins agrícolas, urbanos, industriais ou paisagística, tendo em atenção os limites admissíveis em vários estudos (Asano *et al.*, 2007; UNESCO, 2009; Marecos do Monte e Albuquerque, 2010), normas (NP 4434-2006) e legislação (Decreto-Lei n° 236/98), o efluente necessitaria de um tratamento complementar para reduzir as cargas de azoto, fósforo e microbológica, previamente à sua utilização.

Por outro lado, o valor de CE no efluente final não apresenta risco para a salinidade do solo (apenas valores superiores a 2 dS/m causam preocupação), nem os compostos com potencial fitotóxico (B, Cl, Na) apresentam concentrações médias elevadas, pois os limites máximos admissíveis, de acordo com Westcot e Ayers (1985), são de 0.7 mg B/L, 140 mg Cl/L e 140 mg Na/L. As concentrações médias de metais pesados (Cd, Cr, Co, Ni, Pb, Zn), compostos que

podem acumular no solo, não apresentam risco de contaminação do solo, de acordo com os valores apresentados em Asano *et al.* (2007), e são similares aos observados por Pedrero (2010) em ART utilizadas na região de Múrcia (Espanha) para aplicação agrícola e RAQ. Como as concentrações de SST, Ca e Mg são baixas, de acordo com Westcot e Ayers (1985), o risco de alteração da permeabilidade do solo é baixa.

Quando a infiltração é efectuada à superfície do solo ou na zona não saturada, grande parte da matéria orgânica, formas de azoto e de fósforo e metais pesados são removidos ou convertidos no primeiro metro de solo. O solo pode funcionar, desde que se respeitem as condições definidas na Tabela 2.5, como um sistema de tratamento por meio poroso (o designado SAT). A oxidação da matéria orgânica e de azoto amoniacal ocorre junto à superfície do solo, onde o oxigénio está mais disponível, por mecanismos aeróbios (respiração aeróbia e nitrificação). As formas de fósforo normalmente complexam com os minerais do solo à superfície (Pedrero, 2010) e os metais pesados ficam retidos à superfície por apresentarem, em geral, uma carga contrária à dos minerais do solo. A maior preocupação reside nos nitratos, que resultam da oxidação do amónio, e na carga bacteriológica.

Se a zona de infiltração se localizar em solos arenosos permeáveis, com um afastamento do nível freático de Inverno superior a 5 m (i.e. altura mínima da zona não saturada), que permita a aplicação de taxas de infiltração entre 0,2 e 1m/d a concentração final de matéria orgânica, azoto amoniacal, nitritos, nitratos, SST, metais pesados e carga bacteriológica será reduzida significativamente (Asano *et al.*, 2007). Guessab *et al.* (1993) observaram eficiências de remoção da ordem dos 99% de CF e streptococcus fecais e a eliminação completa de OH em solos arenosos com zona não saturada de 5 m, para taxas de infiltração de 0.23 m/d. Brissaud *et al.* (1991) observou a remoção entre 1.5 e 4 logs de CF em colunas de areia fina com 1 m de altura para taxas de infiltração entre 0,5 e 1 m/d.

Na área em estudo, a profundidade do aquífero varia entre 10 a 50 m (Cavaleiro, 2002; Cavaleiro *et al.*, 2006b; Pedrero *et al.*, 2011). Sendo assim, o local mais adequado para a localização de bacias de infiltração, seria uma zona com solo arenoso e fino, que permitisse uma velocidade de infiltração da ordem de 1m/d, ou até superior, uma vez que a altura da zona não saturada é superior a 10 m, e que estivesse afastado do aquífero de águas sulfurosas que alimenta as Termas do Cró.

### 5.3. Potenciais áreas para recarga de aquíferos

Nesta fase, houve necessidade de correlacionar e estruturar informação já registada, que se materializou em operações de análise espacial. Assim, para a elaboração da Carta de Aptidão, utilizou-se uma análise multicritério, utilizando o método da sobreposição booleana, tal como sugerido por Kallali *et al.* (2007) e Zhao *et al.* (2009), que consistiu na reclassificação de variáveis (cartas temáticas) na forma binária (0/1), tendo sido estas posteriormente

combinadas de acordo com operações lógicas de intersecção e união de carácter inclusivo (áreas de possível aptidão) e exclusivo (áreas sem aptidão).

Os critérios de exclusão estão associados à protecção dos aglomerados urbanos (perímetro de protecção até 200 m), pontos de água (até 50 m relativamente a captações de água para rega e até 100 m relativamente a captações de água para consumo humano), de acordo com o Decreto-Lei n.º118/2006 de 21 de Junho, tal como também foi admitido por Ribeiro (2008) e Pedrero *et al.* (2011).

De acordo com Kallali *et al.* (2007), os locais de infiltração por percolação não devem ser inseridos em zonas com declive superior a 12% (declives mais elevados fazem aumentar o escoamento, a erosão do solo, gerando instabilidade no solo).

No que refere ao uso ou ocupação do solo, foram excluídos todos os tipos de ocupação à excepção dos Matos, visto serem terrenos baldios, podendo ser utilizados para a finalidade deste estudo.

Relativamente ao tipo de solo, foram excluídos todos os solos, à excepção dos Antrossolos, porque são solos que têm mais de 1 m de profundidade, uma textura do tipo areia fina e que permite uma velocidade de infiltração de 1 m/d (características estas que se mostram adequadas para remover a carga poluente da ART) (Pedrero *et al.*, 2011).

Finalmente, foram excluídas as áreas que se encontram a uma distância superior a 8 Km da ETAR (fonte de ART a reutilizar), pois, como refere Kallali *et al.* (2007), este critério está relacionado com a minimização de custos desde a ETAR ao possível local de aplicação, não devendo a distância ser superior àquele valor.

A elaboração da Carta de Aptidão englobou, assim, a utilização de seis cartas temáticas (Tipo de Solo (TS), Ocupação do Solo (OS), Pontos de Água (PA), Aglomerados Urbanos (AU), Declives (D) e Distância de 8 Km da ETAR, dentro da área de estudo (DETAR). De mencionar que a carta temática referente aos pontos de água, agrupa as linhas de água, depósitos de água e poços.

Seguidamente, explica-se o procedimento utilizado na elaboração de cada carta temática até à obtenção da Carta de Aptidão final.

### ➤ Carta de Ocupação do Solo

Para a integração da cartografia de ocupação do solo foi necessário converter a cartografia original, em formato *shapefile* para *grid* (formato quadricular utilizado no *ArcMap*, cada

quadrícula com a dimensão de 10mx10m), tendo o mapa matricial sido reclassificado num mapa binário (Figura 5.2), utilizando a extensão *Spatial Analyst*, com as seguintes classes:

- Classe OS 0: área não ocupada por Matos (peso 0)
- Classe OS 1: área ocupada por Matos (peso 1)

Para definição deste critério e tendo em consideração os usos do solo presentes na área em estudo, considerou-se as áreas de Matos como áreas de inclusão uma vez que são terrenos baldios, podendo ser utilizados para a finalidade deste estudo.

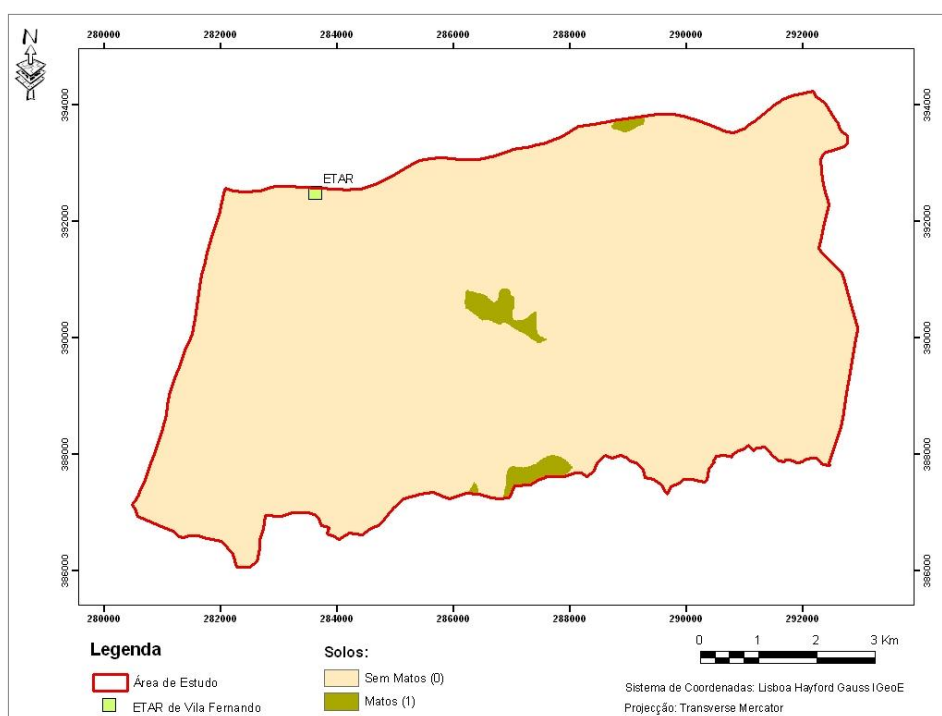


Figura 5.2 - Área de Matos reclassificada

### ➤ Carta do Tipo de Solos

Para a integração da cartografia do tipo de solos foi necessário converter a cartografia original, em formato *shapefile* para *grid* (formato quadricular utilizado no *ArcMap*, cada quadrícula com a dimensão de 10mx10m), tendo o mapa matricial sido reclassificado num mapa binário (Figura 5.3), utilizando a extensão *Spatial Analyst*, com as seguintes classes:

- Classe TS 0: área não ocupada por Antrossolo (peso 0)
- Classe TS 1: área ocupada por Antrossolo (peso 1)

Os solos predominantes na área em estudo são os Antrossolos, ocupando 61,81% da área de estudo. Tendo em consideração as variáveis textura do solo, tipo de solo e velocidade de infiltração, concluiu-se que o solo mais adequado para a infiltração das ART da ETAR de Vila

Fernando seria do tipo Antrossolo, porque pode assegurar um tratamento complementar no solo face às características das ART.

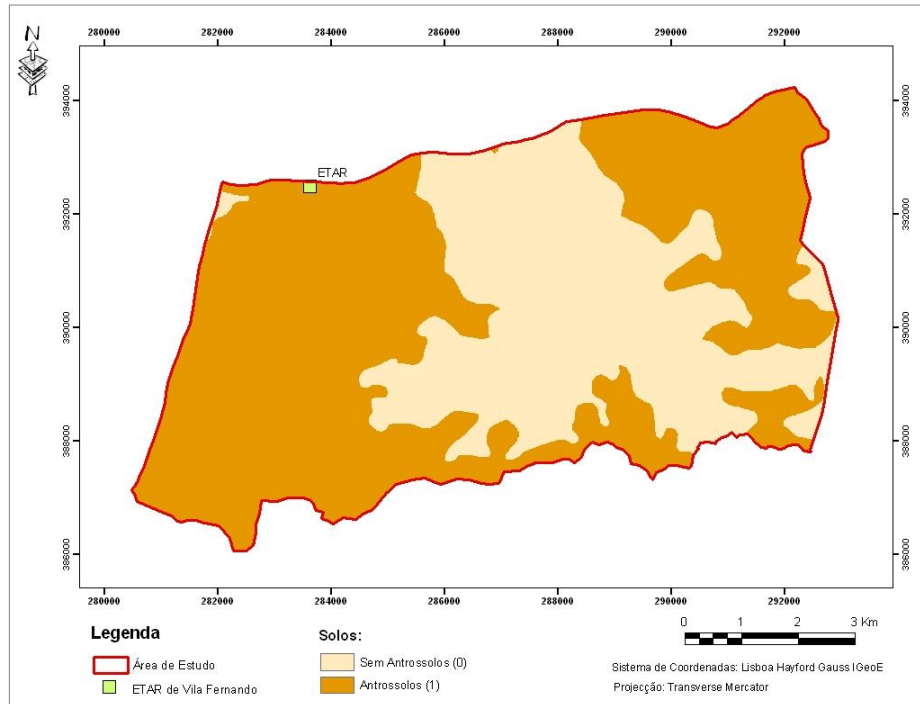


Figura 5.3 - Área de Antrossolos reclassificada

### ➤ Pontos de água

Depois de identificar e digitalizar as linhas de água, os depósitos de água e os poços sobre as Cartas Militares, foi necessário proceder à realização de um *buffer* (margem de segurança) de 100 m em torno das linhas de água e dos depósitos de água e de 50 m em torno dos poços, tendo sido atribuído o valor 0 para a classe até 100 m e o valor 1 para a classe superior a 100 m e o valor de 0 para a classe até 50 m e o valor 1 para a classe superior a 50 m (Figura 5.4). Seguidamente, utilizou-se a aplicação *Intersect*, para se obterem as áreas sem restrições de pontos de água. Após conversão dos dados de formato *shapefile* para *grid* (formato quadricular utilizado no *ArcMap*, cada quadrícula com dimensão de 10mx10m), o mapa matricial foi reclassificado num mapa binário (Figura 5.5), utilizando a extensão *Spatial Analyst*, tendo sido classificadas como 1 áreas sem restrições de pontos de água e as áreas que apresentam restrições foram classificadas como 0.

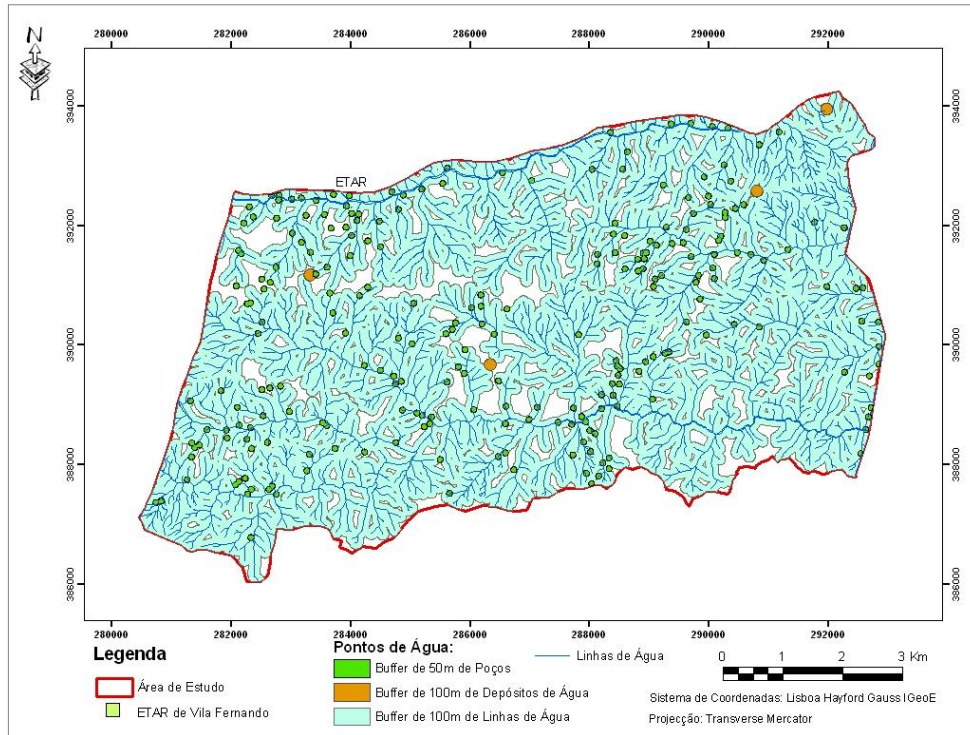


Figura 5.4 - Áreas referentes à protecção das linhas de água, depósitos de água e poços

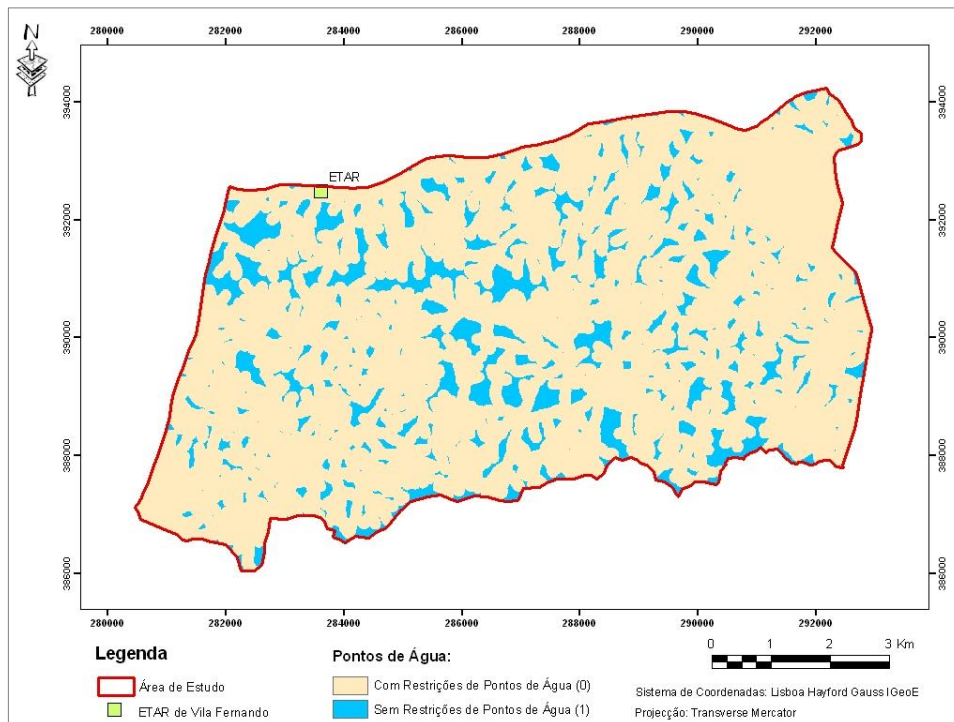


Figura 5.5 - Carta dos pontos de água reclassificada

### ➤ Aglomerados urbanos

Depois de identificar e digitalizar os perímetros urbanos presentes na área de estudo, sobre as Cartas Militares, foi necessário proceder à realização de um *buffer* (margem de segurança) de 200m em torno dos aglomerados urbanos, tendo sido atribuído o valor 0 para a classe até 200m e o valor 1 para a classe superior a 200m. Após conversão dos dados de formato *shapefile* para *grid* (formato quadricular utilizado no *ArcMap*, cada quadrícula com dimensão de 10mx10m), o mapa matricial foi reclassificado num mapa binário (Figura 5.6), utilizando a extensão *Spatial Analyst*, com as seguintes classes:

- Classe AU 0: até 200m de Aglomerados Urbanos (peso 0)
- Classe AU 1: superior a 200m de Aglomerados Urbanos (peso 1)

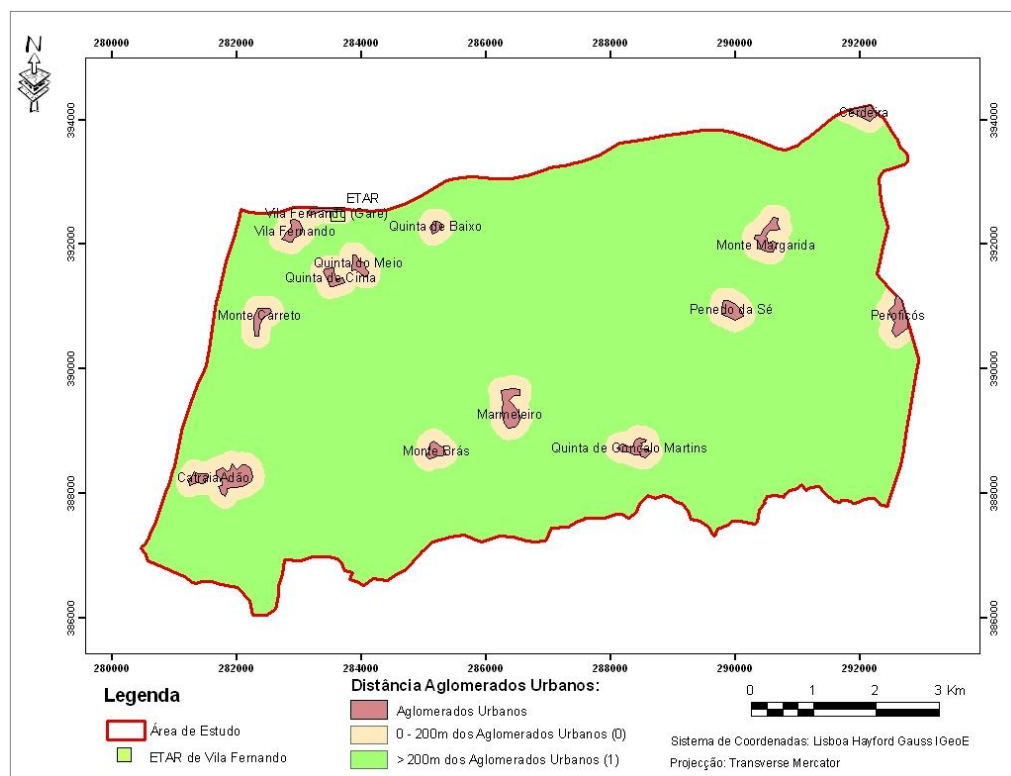


Figura 5.6 - Carta dos aglomerados urbanos reclassificada

### ➤ Carta de Declives

Para a elaboração da carta de declives da área em estudo, foi necessário primeiramente construir um MDT, representado na Figura 5.7, que envolveu a construção de uma *TIN* (Rede Irregular Triangular) através da extensão *3D Analyst* do *ArcMap*. Com base na informação altimétrica disponível (pontos cotados e curvas de nível) e correspondente à área de estudo, foi gerada uma *TIN* a partir de um conjunto de pontos de coordenadas x, y e z, (designados por *mass points*), que representa uma superfície de elementos triangulares que não se sobrepõem.

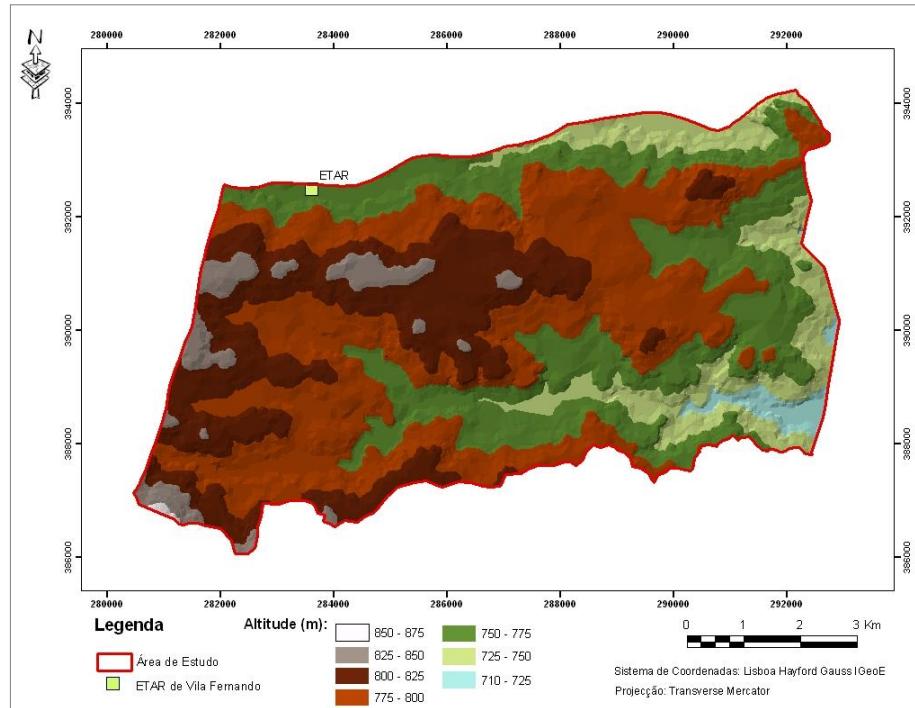


Figura 5.7 - Modelo Digital do Terreno da área de estudo

A partir do MDT, e com recurso à aplicação *Slope*, foi produzida a carta de declives da área de estudo, tendo o mapa matricial sido reclassificado num mapa binário (Figura 5.8), utilizando a extensão *Spatial Analyst*, com as seguintes classes:

- Classe D 0: superior a 12% de inclinação (peso 0)
- Classe D 1: de 0% a 12% de inclinação (peso 1)

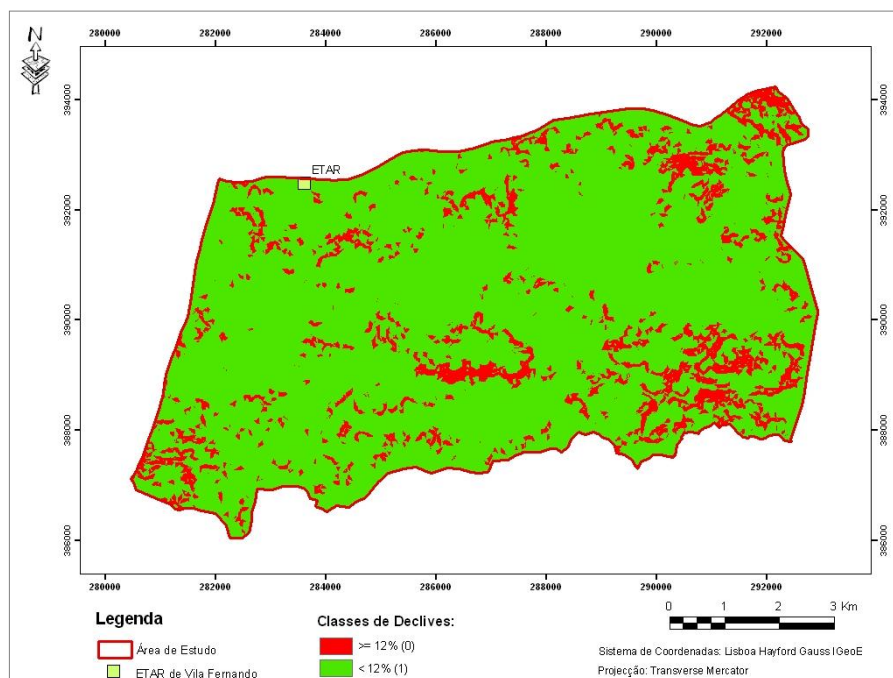


Figura 5.8 - Carta de declives reclassificada

➤ **Distância de 8Km desde a ETAR**

Procedeu-se à realização de um *buffer* (margem de segurança) de 8 Km em torno da ETAR, tendo sido atribuído o valor 1 para a classe até 8Km e o valor 0 para a classe superior a 8 Km. Após conversão dos dados de formato *shapefile* para *grid* (formato quadricular utilizado no *ArcMap*, cada quadrícula com dimensão de 10mx10m), o mapa matricial foi reclassificado num mapa binário (Figura 5.9), utilizando a extensão *Spatial Analyst*, com as seguintes classes:

- Classe DETAR 0: superior a 8Km (peso 0)
- Classe DETAR 1: inferior a 8Km (peso 1)

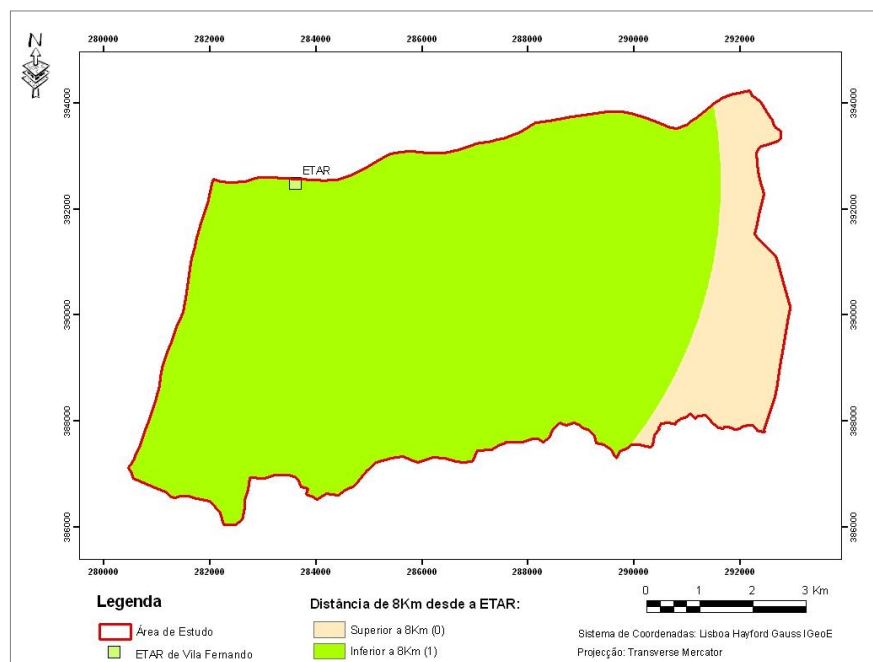


Figura 5.9 - Carta da distância de 8 Km desde a ETAR reclassificada

Com base nas cartas de exclusão e avaliação apresentadas, foi então definida uma Carta de Aptidão para selecção de um local para infiltração de ART na RAQ, que resultou de seis cartas temáticas (TS, OS, PA, AU, D, DETAR), através das operações identificadas no fluxograma apresentado na Figura 5.10.

O procedimento de cálculo envolveu a sobreposição das áreas de exclusão e inclusão de cada uma das cartas temáticas sobre a área de estudo, através de operações algébricas de mapas (Equação 1).

$$(M_{ij}^k)_{mn} \times W = \sum_{k=1}^{tm} \left( \begin{pmatrix} M_{11}^k & M_{12}^k & \dots & M_{1n}^k \\ M_{21}^k & M_{22}^k & \dots & M_{2n}^k \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ M_{m1}^k & M_{m2}^k & \dots & M_{mn}^k \end{pmatrix} \times W^k \right) \quad (1)$$

Onde  $(M_{ij}^k)$  é o vector de dados das células de cada carta temática (linha  $i$  em cada coluna  $j$ ),  $m$  e  $n$  são as dimensões da carta temática em formato matricial,  $k$  é a carta temática,  $tm$  é o número de cartas e  $W$  é o vector dos pesos associados a cada carta (0 para áreas de exclusão e 1 para áreas de inclusão) (Tabela 5.2).

Tabela 5.2 - Cartas temáticas e respectivos pesos atribuídos

| Critério  | Carta | Descrição                                                                                             | Peso |
|-----------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Ambiental | PA    | Até 100m de Linhas de Água e Depósitos de Água Superior a 100 m de Linhas de Água e Depósitos de Água | 0    |
|           |       | Até 50m de Poços para rega Superior a 50 m de Poços para rega                                         | 1    |
|           | AU    | Até 200 m de Aglomerados Urbanos Superior a 200 m de Aglomerados Urbanos                              | 0    |
|           |       |                                                                                                       | 1    |
| Técnico   | OS    | Outros Tipos de Ocupação do Solo Ocupação do Solo do Tipo Matos                                       | 0    |
|           | TS    | Outros Tipos de Solos Solos do Tipo Antrossolo                                                        | 1    |
|           | D     | Declives superiores a 12% Declives situados entre 0% e 12%                                            | 0    |
| Económico | DETAR | Distância superior a 8Km da ETAR                                                                      | 1    |
|           |       | Zona a menos de 8Km da ETAR                                                                           | 0    |

O valor de cada célula da Carta de Aptidão resultou, assim, da soma da multiplicação dos pesos atribuídos a cada carta temática pelo valor armazenado em cada uma das suas células (de dimensão 10mx10m) através de operações algébricas de mapas.

A Equação (1) foi introduzida na função *Raster Calculator* para poder ser determinada a Carta de Aptidão como mostra a Equação (2).

$$(S_{ij})_{mn} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{m1} & S_{m2} & \dots & S_{mn} \end{pmatrix} \quad (2)$$

Onde  $(s_{ij})$  é o vector de dados das células da Carta de Aptidão (linha  $i$  em cada coluna  $j$ ),  $m$  e  $n$  são as dimensões da Carta de Aptidão.

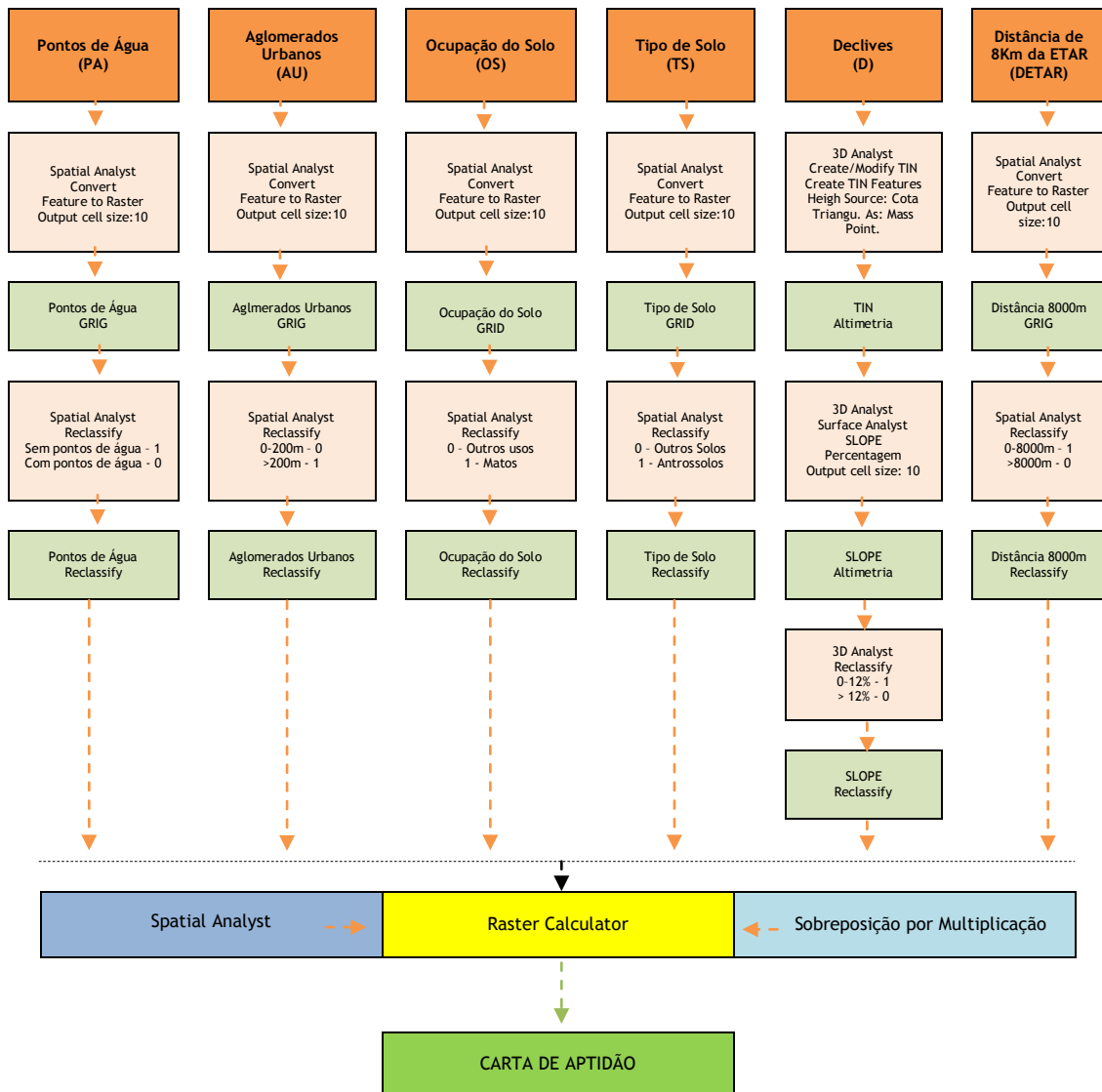


Figura 5.10 - Fluxograma para as operações de análise espacial realizadas na elaboração da Carta de Aptidão

Foi, assim, definida a Carta de Aptidão (Figura 5.11), que inclui duas classes de aptidão: 0 (“Sem Aptidão”) e 1 (“Com Aptidão”).

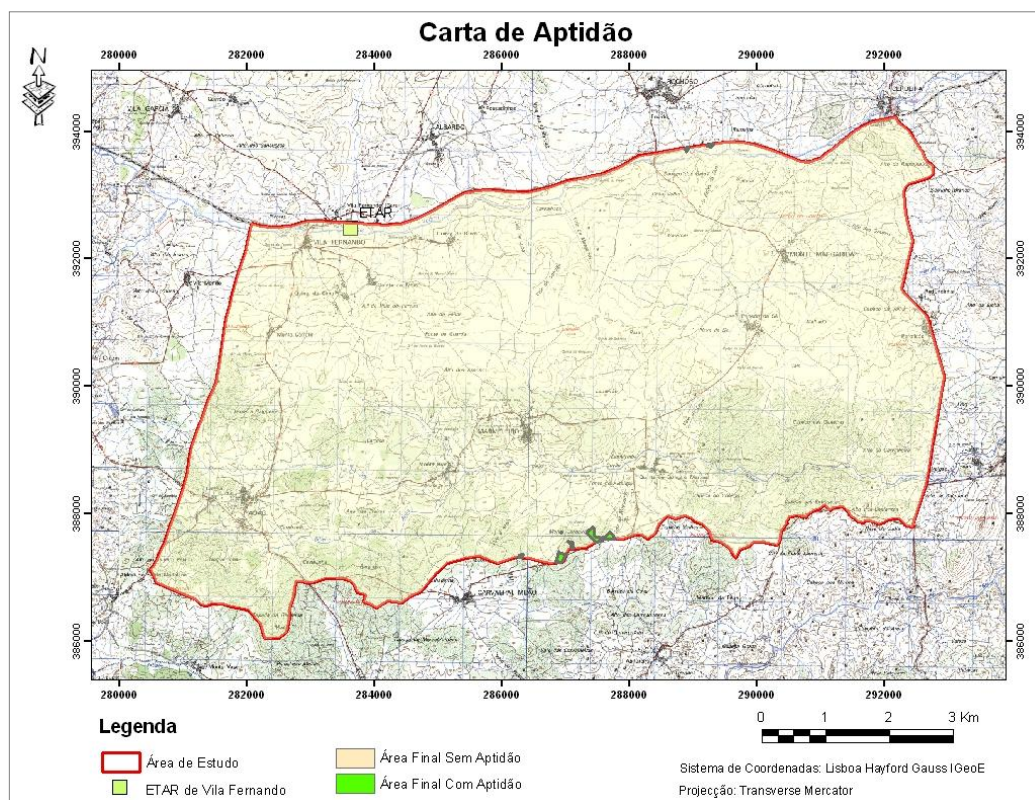


Figura 5.11 - Carta de Aptidão para identificação de potenciais locais para RAQ

Na Tabela 5.3 apresentam-se os resultados referentes a cada variável analisada, podendo concluir-se que se revelam como variáveis mais restritivas a área referente à ocupação do solo, uma vez que dos 6 687,1 ha apenas 100,4 ha podem ser utilizados e a área referente aos pontos de água, uma vez que apenas podem ser utilizados 848,4 ha. Atendendo às várias variáveis estudadas e analisadas, a área estimada para RAQ foi de 6,4 ha.

Tabela 5.3 - Potenciais áreas em função de cada parâmetro

| Parâmetros                                           | Área (ha) |
|------------------------------------------------------|-----------|
| Área de estudo                                       | 6 687,1   |
| Zona a menos de 8Km da ETAR dentro da área de estudo | 5 862,5   |
| Área não ocupada por aglomerados populacionais       | 6 091,3   |
| Área ocupada por matos                               | 100,4     |
| Área ocupada por solos do tipo antrossolo            | 4 133,6   |
| Área sem restrições de pontos de água                | 848,4     |
| Área com declives <12%                               | 5 863,9   |
| Área potencial para reutilização                     | 6,4       |

Considerando uma velocidade de infiltração de 1 m/d, e admitindo que, com o decorrer do tempo, a base da lagoa de infiltração começa a colmatar, diminuindo a velocidade de infiltração para metade (Pedrero, 2010), a velocidade de infiltração de referência será de 0,75 m/d. Como, normalmente, a lagoa de infiltração só trabalha a 50% do tempo (i.e. de acordo com Pescod (1992), enche durante 2 semanas e pára 2 semanas para permitir a infiltração de todo o líquido e a limpeza da base), a taxa de infiltração seria de  $(365/2) \times 0,75 = 0,37$  m/d.

Considerando que o caudal máximo afluyente registado na ETAR (situação mais desfavorável) foi de 240 m<sup>3</sup>/d, e que todo o caudal é encaminhado para bacias de infiltração, a área necessária para infiltração seria de  $240/0,37 = 650$  m<sup>2</sup>. Sendo assim, como cada lagoa em operação está 50% do tempo sem receber caudal, será necessário outra lagoa em paralelo para receber o caudal durante a paragem da primeira, ou seja, a área a reservar para infiltração seria de 1 300 m<sup>2</sup>. Quatro lagoas de infiltração (2x2), com uma área unitária de 325 m<sup>2</sup> (18x18 m), seriam suficientes para a infiltração da totalidade das ART produzidas em Vila Fernando, respeitando os períodos de cheia e de seca, garantindo a correcta recarga do aquífero.

Tendo em atenção que, na área delimitada para estudo, existem mais 5 ETAR da dimensão da de Vila Fernando, que, na totalidade, produzem cerca de 132 000 m<sup>3</sup> de ART por ano, imagine-se a contribuição que poderiam ter para a RAQ.

A partir da área determinada com aptidão para infiltração de ART na RAQ, seleccionou-se uma área para poderem ser construídas as quatro bacias de infiltração com cerca de 1 300 m<sup>2</sup> (Figura 5.12).

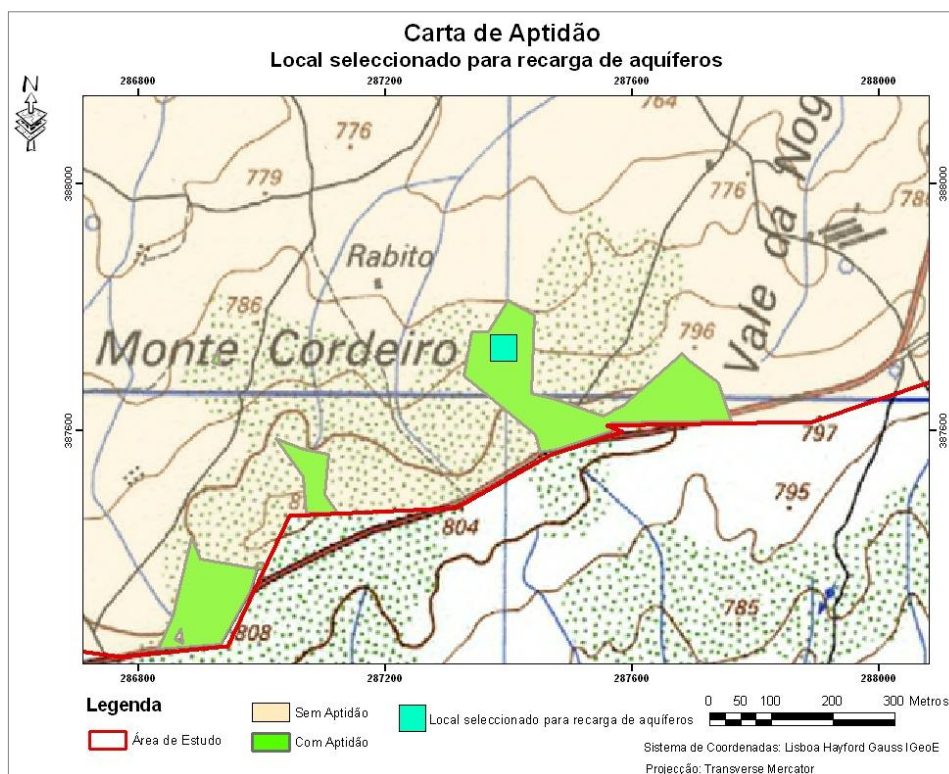


Figura 5.12 - Local seleccionado para RAQ

Assim, a utilização de SIG permitiu georreferenciar, armazenar, tratar e manipular informação complexa, onde a partir de seis cartas temáticas e da definição de zonas de exclusão, foi possível produzir uma Carta de Aptidão e seleccionar um local para infiltração de ART na RAQ na área em análise localizada na Região da Beira Interior.

## Capítulo 6

### Conclusões e Proposta para Trabalhos Futuros

#### 6.1. Conclusões

A reutilização de água residuais tratadas é praticada, em grande parte dos casos, como uma estratégia de conservação da água em regiões onde os recursos hídricos são escassos, como é o caso da Beira Interior, mas também por motivos ambientais, a fim de se preservar a qualidade da água de meios receptores, reduzindo a descarga de efluentes de ETAR. Nos próximos anos, a região da Beira Interior vai precisar de consumir mais água, não só para actividades domésticas e industriais, mas também em actividades agrícolas, cobertas pelo Plano de Regadio da Cova da Beira, e em actividades recreativas (rega de campos de golfe, áreas desportivas e espaços de lazer), uma vez que o Turismo é uma das apostas de desenvolvimento da região.

A recarga artificial de aquíferos pode constituir uma alternativa para o restabelecimento de volumes de água subterrânea que poderão ser utilizados para satisfazer parte daquelas actividades. A partir de dados de uma campanha de monitorização de dois anos na ETAR de Vila Fernando, avaliou-se o volume de água residual tratada que poderia, anualmente, ser utilizada na recarga de aquíferos numa área compreendida entre Vila Fernando (rio Noeme) e o limite da zona de protecção das Termas do Cró.

Apesar das concentrações de azoto e fósforo e da carga bacteriológica serem elevadas para a maior parte das utilizações, se a zona de infiltração se localizar em solos arenosos permeáveis, com um afastamento do nível freático de Inverno superior a 5 m, que permita a aplicação de taxas de infiltração entre 0,2 e 1m/d, o efluente poderá ser infiltrado sem riscos de contaminação das águas subterrâneas (i.e. o solo actuará como um tratamento de afinação).

Optou-se por um tipo de recarga por bacias de infiltração, tendo sido realizada, para a sua localização, uma análise multicritério baseada em SIGs, combinando seis cartas temáticas e critérios ambientais, técnico e económicos. O procedimento de cálculo envolveu a sobreposição de áreas de exclusão e inclusão de cada uma das cartas temáticas sobre a área de estudo, através de operações algébricas de mapas. Obteve-se uma Carta de Aptidão que indica uma área favorável de 6,4 ha, dos 6687,1 ha analisados, para a recarga de aquíferos.

Uma área de 1 300 m<sup>2</sup> foi considerada suficiente para construir quatro bacias de infiltração (18x18 m cada), que funcionariam em ciclos alternados de enchimento-infiltração-limpeza-enchimento (2 + 2). A reutilização de água de uma pequena ETAR em áreas rurais da região da Beira Interior pode, assim, constituir uma fonte de água alternativa para a recarga de aquíferos.

A utilização de SIG permitiu georreferenciar, armazenar, tratar e manipular informação complexa e possibilitou a identificação de áreas de exclusão e de potencial aplicação, que necessitam, agora, de uma verificação local.

## 6.2. Proposta para Trabalhos Futuros

A realização deste estudo, pode ser complementada no futuro, nomeadamente no que respeita aos seguintes pontos:

- Caracterização mais pormenorizada da textura do solo, das características do solo e da variação do nível freático na zona escolhida para a infiltração de ART;
- estudo da possibilidade de ligação de mais ETAR ao mesmo ponto de infiltração;
- avaliação técnico-económica dos custos de transporte e aplicação/distribuição das águas residuais tratadas;
- avaliação de impactes ambientais associados a esta tipologia de reutilização;
- identificar utilizações potenciais e oportunidades de aplicação de águas residuais tratadas em outro tipo de aplicações na região da Cova da Beira (concelhos de Belmonte, Covilhã, Guarda e Sabugal) tendo em atenção a gestão sustentável da água.

## Referências Bibliográficas

Albuquerque, A., Marecos do Monte, H., Romão, J. e Cavaleiro V. (2006) - “Avaliação do potencial de reutilização de efluentes de tratamento secundário na zona urbana da Covilhã com recurso a ferramentas SIG. Estudo experimental”, Actas do 8º Congresso da Água, 13 a 17 de Março de 2006, Figueira da Foz, 16 pp., (comunicação 62 - editado em CD-Rom)

Almeida, A. (2005) - “Modelo de Sistema de Informação Técnica Baseado numa Plataforma SIG”, Dissertação de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica, Instituto Superior de Estatística e Gestão da Informação, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 144pp.

Angelakis A., Bontoux L., e Lazarova, V. (2003) - “Main challenges for water recycling and reuse in EU countries”, Water Supply, vol.3, nº4, pp.59-68

Angelakis, A.N., Marecos do Monte, H., Bontoux, L. e Asano, T. (1999) - “The status of wastewater reuse practice in the Mediterranean basin: need for guidelines, Wat. Res., vol.33, nº10, pp.2201-2217

Asano, T. (2001) - “Water from (Waste)Water - The Dependable Water Resource”, Stockholm Water Prize Laureate Lecture, delivered at the 11th Stockholm Water Symposium, August 12-18, Stockholm, Suécia

Asano, T., Burton, F., Leverenz, H., Tsuchihashi, R.E. e Tchobanoglous, G. (2007) - “Water Reuse: Issues, Technologies and Applications”, McGraw-Hill, New York, USA

Barbosa, D.F.A.M. (2006) - “O Sistema de Informação Geográfica e a Atribuição do Benefício. A vinha na Região Demarcada do Douro”, Dissertação de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica, Universidade Nova de Lisboa, Instituto Superior de Estatística e Gestão da Informação, Lisboa, Portugal

Basnet, B., Apan, A. e Raine, S. (2001) - “Selecting Suitable Sites for Animal Waste Application Using a Raster GIS”, Environmental Management, vol. 28, nº4, Austrália, pp.519-531

Bensabat, J. (2006) - “Artificial recharge in Israel”, AQUA2006, Water Science and Technology Integrated Management of Water Resources, 23 a 26 de Novembro, Athens, Hellas

Bixio D. e Wintgens, T. (2006) - “Water reuse system management - Manual AQUAREC”, Directorate-General for Research, EC, Brussels, Bélgica

Bower, H. (1991) - "Role of Groundwater Recharge in Treatment and Storage of Wastewater for Reuse", Water Science, Technology, vol.24, nº9, pp.295-302

Bower, H. (2002) - "Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering", Hydrogeology Journal, nº10, pp. 121-142

Brissaud, F., Restrepo, M. e Soulié, M. (1991) - "Infiltration for reclaiming stabilization pond effluents", Water Science and Technology, vol.24, pp.185-193

Cavaleiro, V., Rodrigues-Carvalho, J. e Ferreira-Gomes L.M. (2006a) "Geotechnical mapping in the area of Covilhã, Portugal. A methodology using GIS", Actas do 10th International Congress of IAEG - Engineering Geology for developing Countries, Nottingham, Inglaterra, 8pp. (Publicado em CD-ROM)

Cavaleiro, V., Ferreira-Gomes, L.M. e Riscado, J.F.M.C. (2006b) - "Aspectos geoambientais e cartografia de vulnerabilidade das Termas - Caldas do Cró com recurso aos Sistemas de Informação Geográfica", 8º Congresso da Água, Figueira da Foz, 13 a 17 de Março de 2006, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, 14pp.

Cavaleiro, V. (2002) - "Proposta de perímetro de protecção das Termas do Cró", Universidade da Beira Interior, Portugal, 85pp.

Chenini, I. e Mammou, A.B. (2010) - "Groundwater recharge study in arid region: An approach using GIS techniques and numerical modeling", Revista Computers & Geosciences, vol.36, pp.801-817

Costa, R.S.S.E. (2007) - "Modelo de Localização de Sistemas de Águas Residuais", Dissertação de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica, Universidade Nova de Lisboa, Instituto Superior de Estatística e Gestão da Informação, Lisboa, Portugal, 122pp.

Decreto-Lei n.º112/2002 de 17 de Abril, Diário da República n.º90/2002 - I Série A, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Lisboa

Decreto-Lei n.º118/2006 de 21 de Junho, Diário da República n.º118/2006 - I Série A, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Lisboa

Decreto-Lei n.º147/2008 de 29 de Julho, Diário da República n.º145/2008 - 1ª Série, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Lisboa

Decreto-Lei n.º152/97 de 19 de Junho, Diário da República n.º139/1997 - I Série A, Ministério do Ambiente, Lisboa

Decreto-Lei n.º197/2005 de 8 de Novembro, Diário da República n.º214/2005 - I Série A, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Lisboa

Decreto-Lei n.º208/2008 de 28 de Outubro, Diário da República n.º209/2008 - 1ª Série, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Lisboa

Decreto-Lei n.º226-A/2007 de 31 de Maio, Diário da República n.º105/2007 - 1ª Série, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Lisboa

Decreto-Lei n.º235/97 de 3 de Setembro, Diário da República n.º203/1997 - I Série A, Ministério do Ambiente, Lisboa

Decreto-Lei n.º236/98 de 1 de Agosto, Diário da República n.º176/98 - I Série A, Ministério do Ambiente, Lisboa

Decreto-Lei n.º68/99 de 11 de Março, Diário da República n.º59/1999 - I Série A, Ministério do Ambiente, Lisboa

Decreto-Lei n.º69/2000 de 3 de Maio, Diário da República n.º102/2000 - I Série A, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Lisboa

Decreto-Lei n.º77/2006 de 30 de Março, Diário da República n.º64/2006 - I Série A, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Lisboa

Diamantino, C. (2009) - “Recarga artificial de aquíferos: aplicação ao sistema aquífero da campina de Faro”, Tese de Doutoramento em Geologia, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, 326pp.

Díaz, J.M.M., Gómez, J.A.O., Armayor, J.L. e Castano, S.C. (2000) - “Recarga Artificial de Aquíferos. Síntesis Metodológica. Estudio. Actuaciones Realizadas en La Provincia de Alicante”, Edições López Geta, J.A. Hernández, L.R.

Directiva n.º 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia, de 23 de Outubro de 2000, Jornal Oficial das Comunidades Europeias, L327 de 22 de Dezembro de 2000

Directiva n.º 2004/35/CE do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia, de 21 de Abril de 2004, Jornal Oficial das Comunidades Europeias, L143 de 30 de Abril de 2004

Directiva n.º 2006/118/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 12 de Dezembro de 2006, Jornal Oficial da União Europeia, L372/19 de 27 de Dezembro de 2006

Directiva n.º 85/337/CEE do Conselho, de 27 de Junho de 1985, Jornal Oficial, L175 de 5 de Julho de 1985

Directiva n.º 91/271/CEE do Conselho, de 21 de Maio de 1991, Jornal Oficial das Comunidades Europeias, L135/40 de 30 de Maio de 1991

Directiva n.º 91/676/CEE do Conselho, de 12 de Dezembro de 1991, Jornal Oficial, L375 de 31 de Dezembro de 1991

Directiva n.º 97/11/CEE do Conselho, de 3 de Março de 1997, Jornal Oficial, L073 de 14 de Março de 1997

Eden, S., Gelt, J., Megdal, S., Shipman, T., Smart, A. e Escobedo, M. (2007) - “Artificial Recharge: A Multi-Purpose Water Management Tool”, NEYSLETTER ARROYO, Water Resources Research Center, College of Agriculture and Life Sciences, University of Arizona, Tucson, Arizona

EPA (2006) - “Process Design Manual for Land Treatment of Municipal Wastewater”, US Environmental Protection Agency, Center for Environmental Research Information, Cincinnati, USA

Gale, I. e Dillon, P. (2005) - “Strategies for managed aquifer recharge in semi-arid áreas”, Compiled by the International Association of Hydrogeologists - Commission on Management of Aquifer Recharge IAH - MAR, with the support of UNESCO International Hydrological Programme (IHP), Project on Artificial Recharge and Management of Water Resources in Arid and Water Scarce Zones (UNESCO G-WADI) and the British Department for International Development (DFID)

Gale, I. Neumann, I., Calow, R. e Moench, M. (2002) - “The effectiveness of artificial recharge of groundwater: a review”, AGRAR Project - Augmented Groundwater Resources by Artificial Recharge, Groundwater Systems and Water Quality Programme, Phase 1, Final Report CR/02/108N, British Geological Survey, Keyworth, Nottingham, 51pp.

Gemitzia, A., Tsihrintzis, V.A., Christouc, O. e Petalas, C. (2007) - “Use of GIS in siting stabilization pond facilities for domestic wastewater treatment”, Journal of Environmental Management, nº82, pp. 155-166

- Guessab M., Bize J., Schwartzbrod J., Maul A., Morlot M., Nivault N. e Schwartzbrod L. (1993) - "Wastewater treatment by infiltration-percolation on sand: results in Ben-Sergao, Morocco", Water Science and Technology, vol.27, nº9, pp.91-95
- Huston, S.S., Barber, N.L., Kenny, J.F., Lumia, D.S. e Maupin, M.A. (2004) - "Estimated use of water in the United States in 2000", Circular 1268, U.S. Geological Survey, Reston, VA. USA
- INAG (2002) - "Inventário nacional de sistemas de abastecimento de água e de águas residuais de 2001 (INSAAR 2001) ", INAG, Lisboa
- INAG (2009) - "Inventário nacional de sistemas de abastecimento de água e de águas residuais de 2008 (INSAAR 2008)", INAG, Lisboa
- Instituto Português da Qualidade (IPQ) (2006) - "Norma Portuguesa sobre Reutilização de Águas Residuais Urbanas Tratadas na Rega", NP 4434, IPQ, Caparica
- ISCID (2007) - "Israel" Israel National Committee of International Commission on Irrigation and Drainage (ICID) - ISCID
- Kallali, H., Anane, M., Jellali, S. e Tarhouni, J. (2007) - "GIS-based multi-criteria analysis for potential wastewater aquifer recharge sites", Desalination, vol.215, pp.111-119
- Lake, I.R., Lovett, A.A., Hiscock, K.M., Betson, M., Foley, A., Sunnenberg, G., Evers, S. e Fletcher, S. (2003) - "Evaluation factors influencing groundwater vulnerability to nitrate pollution: developing the potencial of GIS", Journal of Environmental Management, nº68, pp. 315-328
- Lei n.º54/2005 de 15 de Novembro, Diário da República n.º219/2005 - I Série A, Assembleia da República, Lisboa
- Lei n.º58/2005 de 29 de Dezembro, Diário da República n.º249/2005 - I Série A, Assembleia da República, Lisboa
- LLOPIS, Juan (2008) - "Sistemas de información geográfica aplicados a la gestión del territorio", Editorial Club Universitario, 3ªedição, Alicante (Espanha), ISBN: 84-8454-767-9, 310pp.
- Luz, L.M.P. (2003) - "Análise da aptidão cultural de Timor-Leste utilizando um Sistema de Informação geográfica", Dissertação de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal

Malinowski, A. (2006) - “Aplicação de metodologia para a estruturação de directrizes para o planeamento do reuso de água no meio urbano”, Dissertação de Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, 242pp.

MAOTDR (2007) - “Plano estratégico de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais (2007-2013) - PEAASAR II”, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Lisboa, 172pp.

Marecos do Monte, H. (2005) - “Reutilização de águas residuais: benefícios, constrangimentos e soluções tecnológicas”, Seminário sobre Aplicação em Portugal e na União Europeia das Directivas Incidentes no Ciclo Urbano da Água, 19 a 21 Setembro, Universidade da Beira Interior, Covilhã (Portugal), 12pp.

Marecos do Monte, H. (2007) - “Water Reuse in Europe”, E-WATER, ISSN 1994-8549

Marecos do Monte, H., Albuquerque, A. (2010) - “Reutilização de águas residuais”, Guia Técnico, nº14, ERSAR, Lisboa, 339pp.

MATOS, João (2008) - “Fundamentos de Informação Geográfica”, Lidel, 5ªedição, ISBN: 9789727575145, 424pp.

MFA (2007) - “Israel's Chronic Water Problem”, 10 Aug 2002, Site Israel Ministry of Foreign Affairs

Naamani, L. (2002) - “GIS Applications in Water and Environmental Engineering”, Massachusetts Institute of Technology

Neves, N., Silva, M. e Rocha, J. (2006) - “Análise Espacial Exploratória de Critérios de Implementação de uma Rede Viária em Áreas de Montanha - Declive Funcional com Variável explicativa Fundamental”, ESRI 2006, IX Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica, Oeiras

NNC (2002) - “Management of aquifer recharge and subsurface storage. Making better use of our largest reservoir”, Seminar Wageningen 18 e 19 de Dezembro 2002, Organizado por Netherlands National Committee (NNC) para a International Association of Hydrogeologists (IAH), 106pp.

NRC (1994) - “Ground Water Recharge using Waters of Impaired Quality”, National Research Council (NRC), Committee on Ground Water Recharge, Water Science and Technology Board, Commission on Geosciences, Environment, and Resources, Washington, D.C., National Academy Press, 182pp.

Oliveira, L., Novo, M.E., Terceiro, P., Lobo-Ferreira e J.P. (2010) - "PROWATERMAN - Segundo relatório temático - Recarga artificial de aquíferos e vulnerabilidade das águas subterrâneas às alterações climáticas", Relatório 288/2010 - NAS, LNEC, Lisboa, 110pp.

Oliveira, M.J.P.M. (2004) - "Recarga de águas subterrâneas. Métodos de avaliação", Tese de Doutoramento em Geologia (especialidade Hidrogeologia), Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Departamento de Geologia, Lisboa, Portugal, 440pp.

Painho, M. e Peixoto, M. (2002) - "Ciência e Sistemas de Informação Geográfica: uma introdução", UNL, ISEGI, Lisboa

Pedrero, F. (2010) - "Sustainable irrigation management with reclaimed water", Tese de Doutoramento, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Múrcia, Espanha, 155pp.

Pedrero, F., Albuquerque, A., Marecos do Monte, H., Cavaleiro, V. e Alarcón, J. (2011) - "Site selection for aquifer recharge with treated wastewater using GIS-based multi-criteria analysis", Actas do 3<sup>rd</sup> International Congress on Wastewater in Small Communities (Smallwat 11), 25 a 28 de Abril de 2011, Sevilha, Espanha, 18pp.

Pescod, M.B. (1992) - "Wastewater Treatment and Use in Agriculture", FAO Irrigation and Drainage Paper 47, Roma

Portaria n.º1450/2007 de 12 de Novembro, Diário da República n.º217/2007 - 1<sup>a</sup> Série, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Lisboa

Ramos, R. e Mendes, J. (2001) - "Avaliação da aptidão do solo para localização industrial: O caso de Valença", Engenharia Civil, N.º10, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 23pp.

Ribeiro, P. (2008) - "Estudo da reutilização de lamas celulósicas em actividades agrícolas no perímetro de regadio da Cova da Beira (Bloco Covilhã) com recurso a Sistemas de Informação Geográfica", Dissertação de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 150pp.

Ribeiro, P., Albuquerque, A., Cavaleiro, V. (2010a) - "Carta de aptidão para reutilização de lamas celulósicas em solos do perímetro de regadio da Cova da Beira com utilização de SIG", Tecnologias do Ambiente, ano 17, n.º93, Janeiro - Fevereiro, pp.34-36

Ribeiro, P., Albuquerque, A., Quinta-nova, L., Cavaleiro, V. (2010b) - "Recycling pulp mill sludge to improve soil fertility using GIS tools", Resources, Conservation and Recycling, vol.54, p.1303-1311

Riscado, J.F.M.C. (2007) - “Análise da Susceptibilidade aos movimentos de Terreno na Bacia Hidrográfica da Carpinteira com Recurso aos Sistemas de Informação Geográfica”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil (Construção), Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal

Santos, M. (2008) - “Reutilização de águas residuais urbanas tratadas”, Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 100pp.

Santos, Nuno (2010) - “Estudo da influência de caudais pluviais na capacidade de tratamento do leito de macrófitas da ETAR de Vila Fernando”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 104pp.

SEWRPC (2006) - “State-of-the-art of water supply practices Report”, Southern Wisconsin Regional Planning Commission, Technical Report, nº 43

Shevah, Y. (1982) - “Israel”, TAHAL Consulting Eng. Ltd., Tel-Aviv, Israel, ICID Publications: Irrigation and Drainage in the World - A Global Review, vol. III, Editado por K.K. Framji, B.C. Garg e S.D.L. Luthra, 3ª Edição

Shevah, Y. (2000) - “Irrigation and Agriculture Experience and Options in Israel”, TAHAL Consulting Eng. Ltd, Israel, Prepared for Thematic Review IV.2: Assessment of Irrigation Options to the World Commission on Dams, Cape Town

Silva, A., Ribeiro, C.T., Dias, J. e Sousa, L. (2004) - “Desenho Técnico Moderno”, 7ª Edição, Lidel - edições técnicas, Lda., Lisboa

Silva, D.F.P. (2006) - “Sistemas de Informação Geográfica para Transportes. Uma aplicação aos transportes urbanos de Guimarães”, Dissertação de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica, Universidade Nova de Lisboa, Instituto Superior de Estatística e Gestão da Informação, Lisboa, Portugal

Simões, Miguel (2009) - “Avaliação da influência do tipo de enchimento no rendimento de leitões com escoamento subsuperficial e horizontal”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 125pp.

State of Califórnia (1992) - “Proposed guidelines for groundwater recharge with recycled municipal wastewater, and Background information on proposed guidelines for groundwater recharge with recycled municipal wastewater”, Interagency water reclamation coordinating committee and the Groundwater recharge committee, Sacramento, CA., USA

Tchobanoglous G., Burton F. e Stensel, H. (2003) - “Wastewater engineering, Treatment, disposal, and reuse”, Metcalf & Eddy, McGraw Hill, New York EUA, 1848pp.

UNESCO (2009) - "Water in a Changing World (WWDR-3)" 3rd United Nations World Water Development Report, UNESCO, Butler, Tanner & Dennis, UK, 320pp.

US EPA (2004) - "Guidelines for Water Reuse", Report EPA/625/R-04/108, Environmental Protection Agency, Washington D.C., USA

Westcot, D. e Ayers, R. (1985) "Irrigation water quality criteria", In: Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater - A Guidance Manual, Pettygrove G. e Asano T. (edts), Lewis Publishers, Inc., Chelsea, USA

Zhao, Y.W., Qin, Y., Chen, B., Zhao, X., Li, Y., Yin, X.A. e Chen, G.Q. (2009) - "GIS-based optimization for the locations of sewage treatment plants and sewage outfalls - A case study of Nansha District in Guangzhou City, China, Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation vol.14, pp.1746-1757