

UNIVERSIDADE DO ALGARVE

**ANÁLISE DO IMPACTO DA GESTÃO DOS RECURSOS  
HÍDRICOS NO ESTADO QUANTITATIVO E  
QUALITATIVO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA  
BACIA HIDROGRÁFICA DA RIBEIRA DE QUARTEIRA**

Telma Cristina Gonçalves Farinha

**Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente**

**Especialidade em Gestão e Avaliação Ambiental**

**Trabalho efetuado sob a orientação de:**

Prof<sup>a</sup>. Dra. Amélia Dill e Prof. Dr. Tibor Stigter



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

**ANÁLISE DO IMPACTO DA GESTÃO DOS RECURSOS  
HÍDRICOS NO ESTADO QUANTITATIVO E  
QUALITATIVO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA  
BACIA HIDROGRÁFICA DA RIBEIRA DE QUARTEIRA**

Telma Cristina Gonçalves Farinha

**Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente**

**Especialidade em Gestão e Avaliação Ambiental**

**Trabalho efetuado sob a orientação de:**

Prof<sup>a</sup>. Dra. Amélia Dill e Prof. Dr. Tibor Stigter

**ANÁLISE DO IMPACTO DA GESTÃO DOS RECURSOS  
HÍDRICOS NO ESTADO QUANTITATIVO E  
QUALITATIVO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA  
BACIA HIDROGRÁFICA DA RIBEIRA DE QUARTEIRA**

Declaro ser a autora deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

---

(Telma Cristina Gonçalves Farinha)

A Universidade do Algarve tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicitar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Copyright Telma Farinha



## **AGRADECIMENTOS**

A dissertação apresentada foi o culminar de um percurso académico, que embora longo, fora deveras enriquecedor. Foi fundamental o apoio, a orientação assim como a compreensão do Professor Dr. Tibor Stigter e da Professora Dra. Amélia Dill que sempre se mostraram disponíveis ao longo de todo este processo. O meu profundo agradecimento.

Agradeço a todas as pessoas que de uma forma ou de outra despenderam do seu tempo para fazer com que este desafio fosse possível. A quem me ajudou e deu força para continuar quando as dificuldades surgiam e quando a motivação não era a suficiente. Obrigada aos meus amigos mais próximos que me incentivaram e que foram incansáveis. Patrícia, Inês, Cátia, João Rodrigues e Tiago Correia... Obrigada!

Agradeço à minha família. Mãe, sem ti nada disto teria sido possível. Jamais conseguirei agradecer-te por tudo. A ti mano que bem sei que torces por mim, à Cláudia que sempre me apoia e a ti Gui que me acompanhaste nesta travessia como se também fosse tua.

E sobretudo a ti pai, que permanecerás sempre presente...

## ERRATA

Errata referente à Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente- espacialidade em Gestão e Avaliação Ambiental.

Tema: “Análise do impacto da Gestão dos Recursos Hídricos no estado quantitativo e qualitativo das águas subterrâneas na Bacia Hidrográfica da ribeira de Quarteira” realizada por Telma Cristina Gonçalves Farinha.

<b>Página</b>	<b>Linha</b>	<b>Onde se lê</b>	<b>Deve ler-se</b>
xviii	18	Figura 6.23	Figura 6.22
xx	14	<b>Gráfico 6.1</b> Relação entre a Condutividade e CL. <b>Quadro 6.5</b> Cloreto (mg/l) e Condutividade (S/cm).	<b>Quadro 6.5</b> Cloreto (mg/l) e Condutividade (μ/cm).
xx	16	<b>Gráfico 6.2</b> Relação entre a Condutividade e NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> . <b>Quadro 6.6</b> Nitrato (mg/l) e Condutividade (S/cm).	<b>Quadro 6.6</b> Nitrato (mg/l) e Condutividade (μ/cm).
3	17	NO <sup>3-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
13	7	extrínseco	não sendo intrínseco
20	1	reutilização da água de retorno	infiltração das águas não utilizadas diretamente pelas plantas, enriquecidas em sais devido à evaporação
21	21	5 mg/l até aos 460 mg/l.	5 mg/l até aos 460 mg/l (WHO, 1996).
22	6	(gesso e sal-gema).	(gesso e sal-gema) (PHHRA, 1999).
23	5	devido à deslocação da interface entre a água salgada e a água doce para o interior.	devido à intrusão salina.
23	15	A sobre-exploração dos aquíferos conduz a situações que com frequência são referidas como de sobre-exploração.	A exploração dos aquíferos conduz a situações que com frequência são referidas como de sobre-exploração.

28	21	100m <sup>3</sup> /dia	100 m <sup>3</sup> /dia
31	1	ecológico18	Ecológico
51	13	monitorados	monitorizados
52	15	uma vez que, de um período para o outro houve um decréscimo da utilização da água subterrânea, graças à introdução do sistema multimunicipal de águas. Esta descida poder-se-á justificar devido ao aumento do número de campos de golfe, sendo que esta atividade é responsável pelo grande consumo de água subterrânea no Algarve, tendo em conta de que são culturas irrigadas de grandes dimensões.	tendo havido também um decréscimo da utilização da água subterrânea, mas no entanto houve um aumento no número de campos de golfe, sendo que esta atividade é responsável pelo grande consumo de água subterrânea no Algarve, tendo em conta de que são culturas irrigadas de grandes dimensões.
52	20	Contudo, é de referir	É de referir
55	11	Tabela 6.3	Tabela 4.7
55	18	Litoral obtém o valor (2)	Litoral obtém o valor (1)
57	Legenda	<b>Figura 1.1</b> Mapa de pontuação do tipo de solo (adaptado do mapa de Solos).	<b>Figura 4.2</b> Mapa de pontuação do tipo de solo (adaptado da Carta de Solos para Portugal Continental, 1971).
62	3	pode dever-se devido a	pode dever-se a
63	5	Como é possível verificar através da comparação dos dois mapas finais para o período 2003-2012 (Figura 6.14)	Como é possível verificar através da comparação dos dois mapas finais para o período 2003-2012 (Figura 6.14 e Figura 6.17)
67	5	O histograma (Figura 8.18)	O histograma (Figura 6.18)
68	Legenda	<b>Figura 4.3</b> Mapa final DRASTIC (à esquerda) e mapa final IS (à direita) relativo ao período 1985-1995.	<b>Figura 4.4</b> Mapa final IS (à esquerda) e mapa final DRASTIC (à direita) relativo ao período 1985-1995.

70	4	das águas subterrâneas julga-se ser interessante e comparar os diferentes mapas de ocupação e uso do solo	das águas subterrâneas julga-se interessante comparar os diferentes mapas de ocupação e uso do solo
73	17	é umas principais	é uma das principais
74	26	Figura 6.20	Figura 6.22
76	18	Gráfico 6.1	Figura 6.23
77	Legenda	<b>Gráfico 6.1</b>	<b>Figura 6.23</b>
77	1	Gráfico 6.2	Figura 6.24
77	Legenda	<b>Gráfico 6.2</b>	<b>Figura 6.24</b>
78	Legenda	<b>Figura 6.23</b>	<b>Figura 6.25</b>
79	Legenda	<b>Figura 6.24</b>	<b>Figura 6.26</b>
79	9	Gráfico 6.5	Figura 6.27
80	Legenda	<b>Gráfico 6.3</b>	<b>Figura 6.27</b>
80	Legenda	<b>Gráfico 6.4</b>	<b>Figura 6.28</b>
80	3	Este fenómeno, possivelmente, será devido ao processo de diluição, que faz com durante um determinado período as concentrações diminuem, voltando posteriormente aos valores médios. Este processo acontece devido ao aumento de recarga, normalmente por meio de rega. De salientar que, grande volume de recarga favorece a diminuição do potencial de poluição uma vez que possibilita a diluição das substâncias poluentes.	Este fenómeno, poderá ser devido ou à cessação de extrações, ou a erros de bombagem e má posição dos ralos, entre outros fatores.
80	Legenda	<b>Gráfico 6.4</b>	<b>Figura 6.28</b>
80	Legenda	<b>Gráfico 6.5</b>	<b>Figura 6.29</b>

81	8	Gráfico 6.8	Figura 6.30
81	Legenda	<b>Gráfico 6.8</b>	<b>Figura 6.30</b>
81	15	nos dois gráficos abaixo	nas duas figuras abaixo
82	Legenda	<b>Gráfico 6.7</b>	<b>Figura 6.31</b>
82	Legenda	<b>Gráfico 6.8</b>	<b>Figura 6.32</b>
82	10	No Gráfico 6.11	Na Figura 6.33
83	Legenda	<b>Gráfico 6.9</b>	<b>Figura 6.33</b>
83	1	Gráfico 6.12	Figura 6.34
83	Legenda	<b>Gráfico 6.10</b>	<b>Figura 6.34</b>

## RESUMO

A presente dissertação tem como principal objetivo estudar o risco de degradação qualitativa na Bacia Hidrográfica da Ribeira de Quarteira, nomeadamente a salinização e a contaminação por nitratos, bem como a degradação quantitativa, relacionadas com as práticas agrícolas e outras atividades poluidoras como a elevada exploração dos recursos hídricos subterrâneos.

Torna-se imprescindível desenvolver e aplicar métodos de prevenção da poluição e de contaminação destes recursos, e é neste sentido que os índices de vulnerabilidade e de risco atuam. Os mapas de vulnerabilidade são geralmente elaborados a partir do cruzamento de vários níveis de informação (parâmetros geológicos e hidrogeológicos, ocupação do solo, etc.), aos quais podem ser atribuídos fatores de ponderação em função da sua importância na contribuição para a vulnerabilidade do aquífero.

Os modelos de apoio à decisão, usados posteriormente nesta investigação, como o SIG, são a principal ferramenta de auxílio de gestão de águas subterrâneas. Constituem modernas ferramentas de gestão e ordenamento do território com aplicação crescente em todas as áreas das Geociências e do Ambiente.

Os resultados do estudo indicam que as práticas de irrigação, aliados à natureza litológica dos terrenos têm um papel dominante na deterioração das águas subterrâneas, uma vez que induzem o processo de reciclagem e o aumento da mineralização das águas. A origem principal da contaminação por nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) envolve quase sempre o uso intensivo de fertilizantes nas práticas agrícolas.

Ambos os métodos DRASTIC e IS aplicados à Bacia Hidrográfica da Ribeira de Quarteira para os períodos 1985-1995 e 2003-2012 avaliaram-na mais vulnerável no período 1985-1995, do que em relação ao período mais recente, sendo a zona mais próxima do Litoral a mais vulnerável.

**Palavras-Chave:** Bacia Hidrográfica da Ribeira de Quarteira; recursos hídricos subterrâneos; mapas de vulnerabilidade; SIG; nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ).



## **ABSTRACT**

The main goal of this dissertation is to study the risk of qualitative degradation in Ribeira de Quarteira Watershed, including the salinization and nitrate contamination, as well the quantitatively degradation, related with agricultural practices such as high exploitation of groundwater resources.

It becomes essential to develop and apply methods to prevent pollution and contamination of these resources, and is in this sense that the indices of vulnerability and risk act. The vulnerability maps are usually elaborated from the interception of several levels of information (geological and hydrogeological parameters, land use, etc.), which can be assigned weighting factors according to their importance in contributing to the vulnerability of aquifer.

The models for decision support, used later in this research, such as GIS, are the main tool to aid the management of groundwater. Constitute modern tools of management and territory planning with growing application in all areas of Geosciences and the Environment.

The study results indicate that irrigation practices, combined with the lithological nature of the terrain play a dominant role in the deterioration of groundwater, since they induce the recycling process and increased mineralization of the waters. The main source of contamination by nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) almost always involves the intensive use of fertilizers in agricultural practices.

Both IS and DRASTIC methods applied to Ribeira de Quarteira Watershed for the periods 1985-1995 and 2003-2012 evaluated on the most vulnerable in the period 1985-1995 than in relation to the most recent period, with the nearest zone the coastline vulnerable.

**Key-words:** Ribeira de Quarteira Watershed; groundwater resources; vulnerability maps; GIS; nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>).



## ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO .....	1
1.1	Considerações Gerais.....	1
1.2	Objetivos.....	3
1.3	Organização da Dissertação .....	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1	Importância da Água Subterrânea.....	5
2.2	Águas Subterrâneas em Portugal .....	6
2.3	Águas Subterrâneas no Algarve.....	10
2.4	Conceitos de Vulnerabilidade e de Risco .....	11
2.5	Métodos de Avaliação de Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas.....	13
	Modelo DRASTIC .....	13
	Índice de Susceptibilidade (IS) .....	16
2.6	Fatores que influenciam a Qualidade da Água Subterrânea .....	17
	Nitratos.....	19
	Salinização .....	21
2.7	Intrusão Salina e Exploração Agrícola .....	22
2.8	Medidas de Apoio à Decisão .....	25
3	ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO .....	27
3.1	Introdução .....	27
3.2	Diretiva Nitratos .....	29
3.3	Planos de Gestão de Bacia Hidrográfica.....	30
3.4	Planos Específicos de Gestão das Águas .....	30
4	METODOLOGIA .....	32
4.1	Estrutura Metodológica.....	32
4.2	Estruturação da Base de Dados Espaciais.....	32
4.3	O Modelo DRASTIC e o Índice de Susceptibilidade (IS).....	33

Determinação da Profundidade da Toalha freática (D).....	33
Determinação da Recarga do aquífero (R).....	34
Levantamento do Material do Aquífero (A) .....	35
Levantamento do Tipo de Solo (S) .....	36
Caracterização da Topografia (T) .....	37
Caracterização da Influência da zona não saturada (I).....	38
Determinação da Condutividade Hidráulica (C).....	40
Determinação da Ocupação do Solo (LU) .....	40
<b>5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>42</b>
5.1 Identificação dos Sistemas Aquíferos.....	42
5.1.1 Aquífero de Albufeira-Ribeira de Quarteira .....	43
5.1.2 Aquífero de Quarteira.....	45
5.1.3 Aquífero de Querença-Silves .....	47
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>50</b>
6.1 Aplicação do DRASTIC e do IS .....	50
6.1.1 Determinação da Profundidade da Toalha freática (D).....	51
6.1.2. Determinação da Recarga (R) .....	53
6.1.3. Determinação do Material do Aquífero (A) e Condutividade Hidráulica (C) .....	54
6.1.4 Determinação do Tipo de Solo (S).....	56
6.1.5 Determinação do Declive (T).....	57
6.1.6 Determinação da Influência da Zona Vadosa (I) .....	58
6.1.7 Determinação do Uso do Solo (LU).....	59
6.2 Mapas DRASTIC.....	59
6.3 Mapas IS .....	64
6.4 DRASTIC Versus IS.....	68
6.5 Uso e Ocupação do Solo .....	70

6.6	Qualidade .....	72
6.7	Piezometria .....	82
7	CONCLUSÕES.....	85
7.1	Limitações do Estudo.....	88
7.2	Limitação dos Índices de Vulnerabilidade.....	88
7.3	Linhas Futuras de Pesquisa.....	89
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> Unidades Hidrogeológicas de Portugal Continental (INAG, 2001b). .....	9
<b>Figura 2.2</b> Parâmetros incorporados no método DRASTIC (LNEC, 2002) .....	14
<b>Figura 2.3</b> Ciclo da Água Subterrânea (Stigter & Dill, 2000).....	20
<b>Figura 2.4</b> Identificação de zonas potencialmente associadas a riscos de degradação de qualidade de água (Martins <i>et al.</i> , 2006). .....	23
<b>Figura 2.5</b> Área crítica entre Portimão e Tavira (Reis & Gago, 2013). .....	24
<b>Figura 3.1</b> Carta das Zonas Vulneráveis em Portugal Continental (MAMAOT, 2012b). .....	29
<b>Figura 4.1</b> Zona não saturada de um aquífero (Aller <i>et al.</i> , 1987). .....	38
<b>Figura 5.1</b> Sistemas Aquíferos contidos na BHRQ.....	42
<b>Figura 5.2</b> Geologia da massa de água subterrânea de Albufeira-Ribeira de Quarteira. As setas indicam a direção do fluxo subterrâneo regional (MAMAOT, 2012a).....	44
<b>Figura 5.3</b> Geologia da massa de água subterrânea de Quarteira. As setas indicam a direção do fluxo subterrâneo regional (MAMAOT, 2012a).....	46
<b>Figura 5.4</b> Geologia da massa de água subterrânea de Querença-Silves. As setas indicam a direção do fluxo subterrâneo regional (MAMAOT, 2012a).....	48
<b>Figura 6.1</b> Distribuição espacial dos poços monitorizados para a obtenção do parâmetro D (período 1985-1995 e período 2003-2012).....	51
<b>Figura 6.2</b> Parâmetro D para os períodos de 1985-1995 (à esquerda) e 2003-2012 (à direita).....	52
<b>Figura 6.3.</b> Parâmetro R para os períodos de 1985-1995 (à esquerda) e 2003-2012 (à direita).....	53
<b>Figura 6.4</b> Mapa do material do aquífero (adaptado da Carta Geológica). .....	54
<b>Figura 6.5</b> Pontuação do material do aquífero (A) e condutividade hidráulica (C). .....	56
<b>Figura 6.6</b> Mapa de pontuação do tipo de solo (adaptado do mapa de Solos). .....	57
<b>Figura 6.7</b> Classes e pontuação do declive de acordo com o DRASTIC e o IS.....	57
<b>Figura 6.8</b> Classificação da influência da zona vadosa de acordo com o DRASTIC. ..	58
<b>Figura 6.9</b> Classificação Uso do Solo período 1985-1995 (à esquerda) e 2003-2012 (à direita) de acordo com o IS.....	59
<b>Figura 6.10</b> Mapa do DRASTIC para a BHRQ período 1985-1995. ....	60
<b>Figura 6.11</b> Histograma do mapa de vulnerabilidade DRASTIC para a BHRQ período 1985-1995.....	61

<b>Figura 6.12</b> Mapa de vulnerabilidade DRASTIC (2003-2012) para a BHRQ .....	62
<b>Figura 6.13</b> Histograma das classes do mapa de vulnerabilidade DRASTIC para a BHRQ período 2003-2012. ....	63
<b>Figura 6.14</b> Mapa final DRASTIC (à esquerda) e mapa final IS (à direita) relativo ao período 2003-2012.....	63
<b>Figura 6.15</b> Mapa do IS para a BHRQ período 1985-1995.....	65
<b>Figura 6.16</b> Histograma do mapa de vulnerabilidade IS para a BHRQ período 1985-1995. ....	66
<b>Figura 6.17</b> Mapa de vulnerabilidade IS 2003-2012 para a BHRQ. ....	66
<b>Figura 6.18</b> Histograma das classes do mapa de vulnerabilidade IS 2003-2012. ....	67
<b>Figura 6.19</b> Mapa final DRASTIC (à esquerda) e mapa final IS (à direita) relativo ao período 1985-1995.....	68
<b>Figura 6.20</b> Mapas de vulnerabilidade finais para a BH. Canto superior esquerdo DRASTIC período 1985-1995, superior direito DRASTIC 2003-2012. Canto inferior esquerdo IS período 1985-1995, inferior direito IS 2003-2012. ....	68
<b>Figura 6.21</b> Mapa de concentração de nitratos (mg/l), período 1985-1995 à esquerda e período 2003-2012 à direita.....	73
<b>Figura 6.23</b> Concentração de nitratos (mg/l) para o ano de 2012 (ANEXO V).....	75
<b>Figura 6.25</b> Concentração média de cloreto (mg/l) para o período de 1985-1995 (à esquerda) e 2003-2012 (à direita).....	78
<b>Figura 6.26</b> Concentração de cloreto para o ano de 2012. ....	79

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 2.1</b> Tempo de residência para diferentes formas de água (Lencastre & Franco, 1984).....	5
<b>Tabela 2.2</b> Consumos de Água (hm <sup>3</sup> ) segundo a origem por Bacia Hidrográfica (INAG, 2001a).....	7
<b>Tabela 2.3</b> Áreas de Regadio e Consumo de Água por Tipo de Recurso Utilizado (INAG, 2001a).....	8
<b>Tabela 2.4</b> Consumos médios por hectare de cultura com origem nas captações públicas, privadas e respetiva média, localizadas na RH8 (MAAOT, 2012a).....	10
<b>Tabela 2.5</b> Necessidades Hídricas das culturas no Sotavento Algarvio (m <sup>3</sup> /ha) (MAMAOT, 2013).....	11
<b>Tabela 2.6</b> Classes de Vulnerabilidade DRASTIC.....	15
<b>Tabela 2.7</b> Classes de Vulnerabilidade IS.....	17
<b>Tabela 4.1</b> Classes de profundidade do topo do aquífero e respetiva classificação segundo DRASTIC e IS (Aller <i>et al.</i> , 1987).....	34
<b>Tabela 4.2</b> Classes R e respectivas classificações de acordo com o DRASTIC e IS (Aller <i>et al.</i> , 1987).....	35
<b>Tabela 4.3</b> Classes de natureza do aquífero e respetiva classificação segundo DRASTIC (Aller <i>et al.</i> , 1987).....	36
<b>Tabela 4.4</b> Classes de solo e respetiva classificação segundo DRASTIC (Aller <i>et al.</i> , 1987).....	37
<b>Tabela 4.5</b> Classes de declive e respetiva classificação segundo DRASTIC e IS (Aller <i>et al.</i> , 1987).....	38
<b>Tabela 4.6</b> Classes de tipo de material da zona não saturada e respetiva classificação segundo DRASTIC (Aller <i>et al.</i> , 1987).....	39
<b>Tabela 4.7</b> Classes de tipo condutividade e respetiva classificação segundo DRASTIC (Aller <i>et al.</i> , 1987).....	40
<b>Tabela 4.8</b> Classificação da ocupação do solo, com base na carta Corine Land Cover.....	41
<b>Tabela 6.1</b> Valor dos parâmetros para os mapas DRASTIC.....	60
<b>Tabela 6.2</b> Valores dos parâmetros para o mapa IS.....	64

## ÍNDICE DE QUADROS

<b>Quadro 1.1</b> Consumos de água superficial e subterrânea por ano em Portugal Continental. (INAG, 2001a). .....	2
<b>Quadro 2.1</b> Ponderação dos parâmetros DRASTIC (Aller <i>et al.</i> , 1987). .....	15
<b>Quadro 2.2</b> Ponderação dos parâmetros IS (Aller <i>et al.</i> , 1987). .....	17
<b>Quadro 2.3</b> Classificação de cenários relacionados com a qualidade da água subterrânea (Foster <i>et al.</i> , 2002). .....	19
<b>Quadro 5.1.</b> Ocupação dos sistemas aquíferos em estudo. ....	43
<b>Quadro 6.1</b> Formações litológicas da BHRQ e respetivas condutividades segundo DRASTIC e IS. ....	55
<b>Quadro 6.2</b> Descrição das classes CLC. ....	71
<b>Quadro 6.3</b> Percentagem de ocupação das classes CLC para os anos 1990, 2000, 2006. ....	72
<b>Quadro 6.4</b> Valores de condutividade (uS/cm). ....	76
<b>Gráfico 6.1</b> Relação entre a Condutividade e $Cl^-$ . <b>Quadro 6.5</b> Cloreto (mg/l) e Condutividade ( $\mu S/cm$ ).....	77
<b>Gráfico 6.2</b> Relação entre a Condutividade e $NO_3^-$ . <b>Quadro 6.6</b> Nitrato (mg/l) e Condutividade ( $\mu S/cm$ ).....	77

## **SIGLAS E ABREVIATURAS**

<b>APA</b>	Agência Portuguesa do Ambiente
<b>BH</b>	Bacia Hidrográfica
<b>BHRQ</b>	Bacia Hidrográfica da Ribeira de Quarteira
<b>CLC</b>	Corine Land Cover
<b>COS</b>	Carta de Ocupação do Solo
<b>DGADR</b>	Direcção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural
<b>DQA</b>	Diretiva Quadro da Água
<b>EU</b>	União Europeia
<b>ICN</b>	Instituto de Conservação da Natureza
<b>IDW</b>	Inverse Distance Weighting
<b>INAG</b>	Instituto da Água
<b>PNA</b>	Plano Nacional da Água
<b>RH8</b>	Região Hidrográfica 8
<b>SIG</b>	Sistema de Informação Geográfica
<b>VMA</b>	Valor Máximo Admissível
<b>ZV</b>	Zonas Vulneráveis

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações Gerais

A água é utilizada por várias atividades económicas (tais como a agricultura, indústria e energia), pelos consumidores domésticos, para atividades recreativas, para navegação, etc. Cada utilização tem as suas necessidades específicas em termos de utilização do recurso e um determinado tipo de efeito nos meios hídricos (Henriques & West, 2000a).

A proteção das águas subterrâneas tem sido um tema em discussão no seio da União Europeia desde o início dos anos 90. A necessidade de se lançarem ações para evitar a deterioração quantitativa e qualitativa das águas doces, de superfície e subterrâneas, foi reconhecida na reunião ministerial sobre águas subterrâneas, realizada em Haia, em 1991. Foi então apresentada pela Comissão Europeia, em 1997, uma Proposta de Diretiva-Quadro que estabelece um quadro de ação comunitária no domínio da política da água, simplificada designada por Diretiva Quadro da Água, devido à necessidade de proteção das águas subterrâneas (West *et al.*, 2000). A Diretiva Quadro da Água prevê a elaboração de Planos de Gestão de Bacia Hidrográfica e o estabelecimento de programas de medidas destinados a garantir o cumprimento dos objetivos ambientais elaborados de forma integrada para cada bacia hidrográfica (Henriques & West, 2000b).

Em Portugal Continental, as águas subterrâneas servem 37% da população e fornecem cerca de 40% da água consumida pelos Sistemas Públicos de Abastecimento de Água. Este facto traduz as fragilidades da maioria dos sistemas baseados neste tipo de origem (INAG, 2001a). No que concerne às origens de água para abastecimento da indústria, como se verifica no Quadro 1.1, a repartição dos consumos de água em origens subterrâneas e superficiais faz-se de forma sensivelmente equitativa. Cerca de 62% dos consumos de água para o sector urbano são de origem subterrânea. A rega é responsável por cerca de 75% dos consumos de água. Tais consumos de água associam-se maioritariamente a origens subterrâneas 64% (4210 hm<sup>3</sup>) (INAG, 2001a).

**Quadro 1.1** Consumos de água superficial e subterrânea por ano em Portugal Continental. (INAG, 2001a).

	<b>Origens Superficiais</b> (hm <sup>3</sup> )	<b>Origens Subterrâneas</b> (hm <sup>3</sup> )
Urbano	212	349
Industrial	206	179
Turismo	11	9
Agricultura	2341	4210
Energia	1237	-
<b>Total</b>	<b>4007</b>	<b>4747</b>

Almeida & Silva (1990), consideram que o litoral algarvio sofreu importantes transformações a partir dos anos 60, devido à expansão explosiva do turismo e da mudança da agricultura de sequeiro para regadio. As características de semi-aridez da região, com baixos níveis de precipitação e temperaturas elevadas durante grande parte do ano, determinam a escassez de recursos hídricos, o que constitui fator limitante ao pleno aproveitamento das suas potencialidades agrícolas. Para colmatar esta situação, recorreu-se durante muitos anos a reservas hídricas de aquíferos, tendo-se verificado uma sobre-exploração destes recursos, situação agravada pela ocorrência de anos secos, impossibilitando a reposição dos seus níveis freáticos (DGADR, 2008).

No contexto atual das alterações do uso do solo, julga-se oportuno conceptualizar as relações entre as águas subterrâneas e a agricultura. De acordo com Stigter & Dill (2000), a utilização de fertilizantes azotados é prática mundial e como consequência a concentração de nitratos nas águas subterrâneas tem vindo a aumentar, pondo em risco a saúde das populações. As ferramentas de prevenção da poluição e da contaminação das águas subterrâneas adquiriram, nas últimas duas décadas, cada vez maior importância na gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos.

Utilizando métodos de avaliação da vulnerabilidade à poluição agrícola é possível identificar as áreas dos sistemas aquíferos mais susceptíveis à contaminação por nitratos. Os mais eficazes são os específicos já que ao introduzirem o descritor Ocupação do Solo, reduzindo ao mesmo tempo a redundância dos parâmetros diminuem a sub-avaliação dos mapas de vulnerabilidade (Stigter *et al.*, 2006).

Em Portugal Continental o diagnóstico e a caracterização da qualidade das águas subterrâneas realizados no Plano Nacional de Água e nos Planos de Bacia Hidrográfica

(INE, 2011) mostrou claramente existirem níveis de concentração de nitratos de origem agrícola em alguns sistemas aquíferos do país ultrapassando em muitos casos o valor paramétrico de 50 mg/l, como são os casos dos sistemas aquíferos dos Gabros de Beja, da Campina de Faro e das aluviões do Tejo.

## 1.2 Objetivos

A presente dissertação incide sobre a Bacia Hidrográfica da Ribeira de Quarteira, que inclui os sistemas aquíferos de Querença- Silves, de Albufeira- ribeira de Quarteira e de Quarteira, localizados a sul de Portugal Continental e tem como principais objetivos:

- Estudar a evolução do consumo de água subterrânea para rega, com base numa pesquisa bibliográfica, bem como em mapas de ocupação de solo passados e presentes;
- Relacionar o histórico da qualidade de água nos aquíferos com a evolução da utilização dos recursos hídricos subterrâneos para rega e abastecimento público;
- Aplicar e validar Índices de Vulnerabilidade e Risco (DRASTIC e IS) de contaminação das águas subterrâneas e sua evolução com o tempo;
- Interpretar as tendências das concentrações dos parâmetros  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  e relacionar com o estado atual de contaminação;

## 1.3 Organização da Dissertação

A presente dissertação encontra-se organizada em mais seis capítulos. No segundo capítulo encontra-se a revisão bibliográfica onde é feita uma descrição dos índices de vulnerabilidade e de risco DRASTIC e IS. O terceiro capítulo aborda o enquadramento legislativo de proteção às águas subterrâneas. No quarto capítulo é apresentada a metodologia aplicada para a execução dos objetivos definidos nesta dissertação. No quinto capítulo é feita uma breve descrição da área em estudo e os seus sistemas adjacentes. No sexto e penúltimo capítulo são revelados e discutidos os resultados obtidos. Por fim, o capítulo sétimo é referente às conclusões do estudo, suas limitações e linhas futuras de pesquisa.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

É sabido que a água é essencial à vida na Terra. Sem água nenhuma espécie vegetal ou animal, incluindo o ser humano, poderia sobreviver. Cerca de 70% da nossa alimentação e do nosso próprio corpo são constituídos por água. É um recurso que exige cuidados em relação à quantidade de uso, à sua qualidade, às suas fontes, à sua distribuição desigual pelo planeta, além do planejamento e custo do seu tratamento, da sua conservação e proteção.

### **Introdução**

A compreensão da distribuição da água no globo terrestre deverá iniciar-se pela análise do ciclo hidrológico. A energia que permite todo o movimento do ciclo hidrológico é a energia solar.

Muito embora não se possa considerar um princípio ou um fim para o ciclo hidrológico, tome-se a atmosfera como início do ciclo. A atmosfera suporta água sob a forma de vapor que, em certas condições, dá origem à precipitação: chuva, granizo, neve, orvalho e geada. Parte da precipitação evapora-se durante a queda, voltando à atmosfera. Outra parte é interceptada pelas folhas das plantas e pelos telhados, evaporando-se e voltando à atmosfera (Lencastre & Franco, 1984).

A parte mais significativa atinge a superfície da Terra, dando origem à evaporação e ao escoamento superficial na rede hidrográfica, evaporando ou atingindo o oceano. Outra parte humedece o solo e infiltra-se, alimentando as plantas e regressando à atmosfera por transpiração, ou alimentando os cursos de água ou diretamente o oceano, donde será evaporada, fechando assim o ciclo. A parte do excesso hídrico que se infiltra em profundidade, denominada por recarga, vai constituir as águas subterrâneas.

Como se pode ver no Tabela 2.1 existe uma grande variação na importância relativa das diferentes reservas hídricas mundiais, isto é, das diferentes formas em que a água se apresenta na atmosfera e à superfície e nas camadas superiores da crosta terrestre.

**Tabela 2.1** Tempo de residência para diferentes formas de água (Lencastre & Franco, 1984).

Designação	Volume (M km <sup>3</sup> )	Volume (%)	Tempo de residência
Oceanos e Mares	1370	94	~ 4000 anos
Lagos e Reservatórios	0,13	< 0,01	~ 10 anos
Pântanos	< 0,01	< 0,01	1 ~ 10 anos
Rios	< 0,01	< 0,01	~ 2 semanas
Zona não Saturada	0,07	0,01	2 semanas ~ 1 ano
Águas Subterrâneas	60	4	2 semanas - 10 000 anos
Gelos e Glaciares	30	2	~ 10 - 1000 anos
Atmosfera	0,01	< 0,01	~ 10 dias
Biosfera	< 0,01	< 0,01	1 semana

Quase toda a água encontra-se presente nos mares e oceanos, com 94% do total, vindo a seguir as águas subterrâneas com 4% do total e os gelos e glaciares com 2%. Os tempos médios de residências correspondem aos fluxos de renovação, ou seja, tempo médio que uma molécula de água se encontra em cada reservatório.

## 2.1 Importância da Água Subterrânea

De um modo geral, no último século ocorreu um desenvolvimento sem precedentes e a intensificação e eficácia tecnológica nas atividades humanas – indústria, comércio, urbanização, agricultura, exploração e extração de matérias-primas e de recursos biológicos – foi crescente. Este desenvolvimento foi exponencial nos últimos trinta anos, de tal forma que, neste momento, a teia de interações humanas e de intervenção nos ecossistemas se realiza à escala planetária (MAOTDR, 2009).

O crescimento do Algarve, possuidor de um clima privilegiado, deveu-se em parte pela existência de águas subterrâneas, cuja exploração permitiu a expansão extraordinária das culturas de regadio e tornou possível uma intensa ocupação urbana na zona litoral (Almeida, 1985).

Com a crescente industrialização, urbanização e utilização intensiva de produtos químicos na agricultura, tem-se observado uma degradação progressiva da qualidade das águas naturais, verificando-se sérios problemas de poluição em diversas regiões do planeta. As preocupações ambientais, a escassez de recursos e a necessidade de um desenvolvimento sustentado, requerem a análise de um vasto conjunto de consequências associadas às opções de utilização de recursos hídricos e justifica a importância e

necessidade dos estudos de planeamento se desenvolverem ao nível da Bacia Hidrográfica (Vieira, 2001a).

É a água subterrânea que na maioria das vezes, garante o fluxo permanente nos cursos de água superficiais nos períodos de estiagem, mesmo assumindo, nesses momentos, vazões mínimos de descarga (Filho *et al.*, 2011).

A gestão dos recursos hídricos e a conservação da natureza e da biodiversidade têm como objetivos comuns a utilização eficaz da água, a valorização dos meios hídricos e a proteção dos ecossistemas aquáticos e ribeirinhos. Uma adequada articulação entre esses dois sub-sistemas de ordenamento dos recursos naturais torna-se, pois, um elemento fulcral para a abordagem integrada dos meios hídricos que os conceitos vigentes afirmam e se pretende ver ampliada, tanto a nível nacional como da União Europeia (MAOTDR, 2009).

Um recurso tão fundamental como a água deve ser devidamente conhecido para que se saiba com o que contar e para que a sua gestão e proteção se possa fazer corretamente. Tal só é possível com o conhecimento tão completo, quanto possível, dos aquíferos.

## **2.2 Águas Subterrâneas em Portugal**

O PNA considera várias regiões hidrográficas, cuja delimitação encontra-se definida no Decreto-Lei n.º 347/2007, de 19 de Outubro (diploma de delimitação georreferenciada das regiões hidrográficas).

Os planos de gestão de região hidrográfica, são instrumentos de planeamento dos recursos hídricos que visam a gestão, a proteção e a valorização ambiental, social e económica das águas ao nível das bacias hidrográficas integradas numa região hidrográfica. Estes planos permitem avaliar a importância relativa das diversas origens nas bacias hidrográficas e por sector de atividade.

De acordo com o PNA, Tabela 2.2, a água subterrânea é a origem mais importante para regadio em todas as bacias, com exceção das Bacias Hidrográficas do Sado, Mira e Guadiana (INAG, 2001a). Relativamente aos sectores consumidores de água (excluindo a produção de energia), a rega é o setor dominante, sendo responsável

por cerca de 75% dos consumos de água. Tais consumos de água associam-se maioritariamente a origens subterrâneas 64%. Tal conclusão decorre de um facto poucas vezes mencionado e relativo à importância do regadio privado no cômputo da área total equipada com infra-estruturas de rega no país. Na verdade, apenas 12% da área equipada com regadio está afeta a perímetros públicos, esses sim, maioritariamente supridos com origens superficiais de água. Cerca de 62% dos consumos de água para o sector urbano são de origem subterrânea.

**Tabela 2.2** Consumos de Água ( $\text{hm}^3$ ) segundo a origem por Bacia Hidrográfica (INAG, 2001 a).

Bacia Hidrográfica	Consumos de Água ( $\text{hm}^3$ )	
	Origem Superficial	Origem Subterrânea
Minho	33	52
Lima	70	108
Cávado	88	165
Ave	84	218
Leça	42	29
Douro	477	991
Vouga	112	304
Mondego	246	486
Lis	25	36
Rib. Oeste	83	124
Tejo	899	1462
Guadiana	288	165
Sado	142	42
Mira	256	183
Rib. Algarve	61	245
TOTAL	2908	4610

Relativamente ao abastecimento urbano, importará distinguir dois tipos de realidade em termos de origens de água:

- Origens subterrâneas: o método de extração mais comum são as captações do tipo furo vertical, captando na camada de alteração da rocha, em rochas não consolidadas do tipo aluvionar (por vezes no leito de linhas de água ou nas imediações), outras rochas sedimentares (cársicas, areníticas, etc.), ou mesmo, aquíferos do tipo fissural (falhas, diaclases, contactos de formações de naturezas diferentes, etc.);

- Origens superficiais: duas soluções surgem como mais correntes em Portugal, a captação direta em linhas de água (por vezes com sobrelevação da superfície livre promovida pela construção de açudes) e a captação em albufeiras.

A rega é a atividade de maior consumo de água em Portugal e que maior extensão de território ocupa. Como se pode observar na Tabela 2.3, em praticamente

todas as Bacias Hidrográficas a origem subterrânea é a que tem maior importância para as áreas de regadio.

**Tabela 2.3** Áreas de Regadio e Consumo de Água por Tipo de Recurso Utilizado (INAG, 2001a).

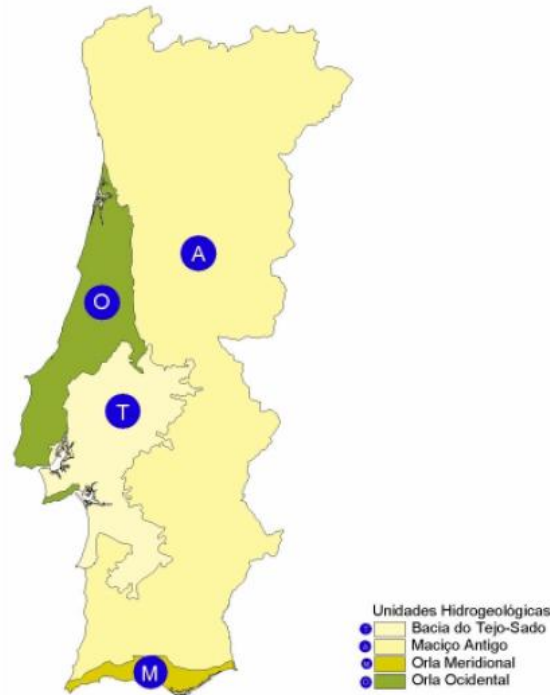
Bacia Hidrográfica	Áreas de Regadio (ha)	Origem Superficial (hm <sup>3</sup> /ha)	Origem Subterrânea (hm <sup>3</sup> /ha)
Minho	16 175	30	50
Lima	32 070	60	100
Cávado	41 680	75	160
Ave	54 770	65	210
Leça	5 785	5	25
Douro	216 920	405	940
Vouga	58 440	75	280
Mondego	102 700	160	465
Lis	6 520	25	30
Rib. Oeste	19 740	45	110
Tejo Sado	276 105	715	1280
Sado	56 345	280	145
Mira	12 030	110	20
Guadiana	50 980	245	175
Rib. Algarve	37 175	45	225

De um modo geral, a atividade agrícola de regadio transfere para a gestão dos recursos hídricos pressões e problemas de diversa natureza dos quais se destacam:

- Cerca de 88% da área de regadio em Portugal é de natureza privada, sendo o conhecimento da utilização da água nessas áreas obtido com periodicidade de 10 anos através do Recenseamento Geral da Agricultura;
- Contabilização muito reduzida dos consumos e sua relação com a eficiência da rega e produtividade das culturas;
- Atividade de regadio intensivo com forte adubação sobre zonas de elevada vulnerabilidade de aquíferos;
- Elevado desajustamento temporal natural entre necessidades de água para rega e as disponibilidades nos sistemas hídricos;
- Reduzido conhecimento das corretas dotações e das eficiências globais dos sistemas de regadio.

Do ponto de vista hidrogeológico ocorrem em Portugal sistemas aquíferos dos mais variados tipos (poroso, fissurado e cársico) que condicionam o armazenamento e a

transmissão da água subterrânea, interagindo com outros meios aquáticos como sejam os rios, os estuários e os oceanos em diversos ambientes climáticos. Portugal está dividido em 4 grandes unidades hidrogeológicas: o Maciço Antigo, a Orla Ocidental, a Orla Meridional e a Bacia do Tejo e Sado (Figura 2.1).



**Figura 2.1** Unidades Hidrogeológicas de Portugal Continental (INAG, 2001b).

No Maciço Antigo predominam as rochas ígneas e metamórficas. Estas formações desempenham um papel fundamental na definição dos caudais ecológicos de rios e ribeiros e no abastecimento de povoações dispersas.

Na Orla Ocidental existe uma grande variedade de formações que constituem o suporte de 30 sistemas aquíferos: unidades detríticas de idade terciária e quaternária; arenitos e calcários do Cretácico e calcários do Jurássico.

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

Finalmente, a Bacia do Tejo e Sado é constituída por formações detríticas de idade terciária e quaternária. É aqui que se situa o mais extenso sistema aquífero da Península Ibérica: o sistema da bacia do Tejo e do Sado-Margem Esquerda. Para além

deste foi identificado mais 4 sistemas aquíferos todos com características porosas, contribuindo pela sua extensão, espessura e produtividade para tornar a Bacia do Tejo e Sado a mais importante unidade hidrogeológica do país.

Esta diversidade hidrogeológica é responsável pela existência de vários tipos de funcionamento hidráulico, pela multiplicidade de conexões hidráulicas com outros subsistemas, pela variabilidade das produtividades e pela variedade dos sentidos de fluxo (INAG, 2001b).

### 2.3 Águas Subterrâneas no Algarve

No Algarve as águas subterrâneas têm assumido um papel fundamental, constituindo, até 1998, a origem para a quase totalidade do abastecimento às populações e às infra-estruturas turísticas. Além disso, tornaram possível o desenvolvimento das culturas de regadio em muitas áreas, sendo esta a atividade responsável pelos maiores volumes de água de consumos e necessidades.

Como se pode verificar na Tabela 2.4, as culturas que mais consomem águas são o arroz, os citrinos, o milho e as estufas, sendo que no Algarve, grande parte das áreas regadas correspondem a citrinos e a arrozais.

**Tabela 2.4** Consumos médios por hectare de cultura com origem nas captações públicas, privadas e respetiva média, localizadas na RH8 (MAAOT, 2012a).

Culturas Regadas	Consumos regadios privados (m <sup>3</sup> /ha)	Consumos regadios públicos (m <sup>3</sup> /ha)	Consumos médios (m <sup>3</sup> /ha)
Arroz	11 125	6 247	9 800
Batata	3 750	3 053	3 708
Citrinos	7 500	5 858	7 135
Estufas	16 250	13 000	16 158
Girassol	4 125	-	4 125
Hortícolas ao ar livre	5 938	3 514	4 255
Milho	7 500	5 406	7 221
Olival	1 875	1 448	1 859
Outras culturas forageiras	8 750	4 405	6 375
Outras	5 716	4 332	4 223
Pomares (exclui Citrinos)	5 000	3 686	4 683
Prados e pastagens permanentes	2 500	1 273	2 350
Prados temporários	2 500	-	2 500
Tomate para indústria	6 250	5 041	5 475
Trigo	4 375	2 227	4 198
Vinha	4 375	561	3 444

As necessidades de água atuais são entendidas como sendo os volumes que deveriam estar disponíveis quando e onde necessário para satisfazer a procura atual e certa, os quais também podem assumir a natureza de fator de produção com restituição

integral aos meios hídricos. São, portanto, iguais à soma dos consumos e da procura, traduzindo-se pelos valores dos consumos que se registariam se a água estivesse disponível em condições idênticas à que hoje é consumida.

A Tabela 2.5, refere-se às necessidades hídricas das culturas para o Sotavento Algarvio, e mais uma vez é notório que as culturas que mais necessitam de disponibilidade de água são em primeiro lugar os pomares de prunóideas (ameixeira, pessegueiro, ginjeira, damasqueiro, cerejeira), seguido dos pomares de citrinos.

**Tabela 2.5** Necessidades Hídricas das culturas no Sotavento Algarvio (m<sup>3</sup>/ha) (MAMAOT, 2013).

Culturas	Necessidades Úteis de Água para Rega (m <sup>3</sup> /ha)			Região
	Anuais	Mês de Ponta		
		Valor	Mês	
Citrinos/Sub-Tropicais	7 700	1 500	Julho	Sotavento
Milho Grão	5 000	2 300	Agosto	Sotavento
Milho Doce	4 900	2 100	Junho	Sotavento
Vinha de mesa	6 500	1 600	Julho	Sotavento
Tomate	4 400	1 600	Maio	Sotavento
Tomate	4 400	1 600	Agosto	Sotavento
Batata	2 800	1 300	Maio	Sotavento
Batata	2 900	1 200	Setembro	Sotavento
Ervilha	600	-	-	Sotavento
Melão	4 000	1 600	Maio	Sotavento
Melancia	4 200	1 700	Maio	Sotavento
Prunóideas	9 400	2 100	Julho	Sotavento
Frutos Secos	7 200	1 700	Julho	Sotavento
Feijão Verde	3 300	1 600	Julho	Sotavento
Repolho	800	-	-	Sotavento

Os valores tabelados devem ser tomados como indicativos. Referem-se às necessidades úteis, devendo portanto ser divididos pelo valor da eficiência de rega. Esta, de uma forma geral, é de 0,65 a 0,80 para a rega por gravidade; 0,80 para rega por aspersão e 0,90 para rega gota-a-gota.

## 2.4 Conceitos de Vulnerabilidade e de Risco

As sociedades modernas têm enfrentado problemas ao nível da crescente procura de água, e da crescente complexidade e vulnerabilidade dos sistemas que a gerem e disponibilizam à população e suas atividades (Monteiro & Do Ó, 2005).

A poluição dos recursos hídricos subterrâneos é indiscutivelmente um dos grandes problemas dos recursos hídricos a nível global. Os pesticidas provenientes da agricultura, são reconhecidos como a maior ameaça das águas de superfície e subterrâneas para consumo (Remesan & Panda, 2007). Desta forma, torna-se imprescindível desenvolver e aplicar métodos de prevenção da poluição e de contaminação destes recursos, e é neste sentido que os índices de vulnerabilidade e de risco atuam.

O termo “vulnerabilidade” é já de si ambíguo e poderá ter vários significados dependendo do autor. Aller *et al.*, (1987) define vulnerabilidade como “a maior ou menor capacidade de atenuação das camadas superiores do aquífero à passagem dos poluentes, tomando em conta as características geológicas, hidrológicas e hidrogeológicas do meio, independentemente do tipo de poluente gerado pelas atividades antropogénicas. Trata-se portanto, de uma propriedade intrínseca do sistema hidrogeológico”. Lobo-Ferreira & Cabral (1991) *in* Stigter & Dill (2000), definem vulnerabilidade como a sensibilidade da qualidade das águas subterrâneas a uma carga poluente, função apenas das características intrínsecas do aquífero.

Os mapas de vulnerabilidade à poluição são geralmente elaborados a partir do cruzamento de dados geológicos e hidrogeológicos, ocupação do solo, entre outros parâmetros, aos quais se podem atribuir pesos distintos em função da sua importância na contribuição para a vulnerabilidade do aquífero (Paralta, 2009). As ferramentas informáticas, nomeadamente as de análise espacial em formato *raster*, são fundamentais nestes cálculos pela facilidade e rapidez de execução que permitem.

Lobo-Ferreira (1998) distingue risco de vulnerabilidade, considerando que o risco de poluição depende não só da vulnerabilidade como também da existência de cargas poluentes significativas que possam entrar no ambiente subterrâneo. Já o risco poderá ser causado por características intrínsecas do aquífero, bem como pela existência de atividades poluentes. O mesmo autor admite que pode existir um aquífero com um alto índice de vulnerabilidade mas sem risco de poluição (no caso de não existir qualquer carga poluente), ou pode existir risco de poluição excecional apesar do índice de vulnerabilidade ser baixo.

## 2.5 Métodos de Avaliação de Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas

Após a compreensão da importância e distinção dos conceitos de vulnerabilidade e risco, ir-se-á proceder à aplicação de dois métodos distintos de avaliação de vulnerabilidade a fim de os comparar e interpretar a influência da alteração de alguns parâmetros nos mapas finais. Após pesquisa bibliográfica e tendo em conta a área de estudo e o material disponível, optou-se por aplicar o método intrínseco DRASTIC e o índice de suscetibilidade, IS, que deriva deste, contudo extrínseco. Irá então determinar-se as zonas potencialmente mais vulneráveis à contaminação, dando especial ênfase à contaminação por nitratos.

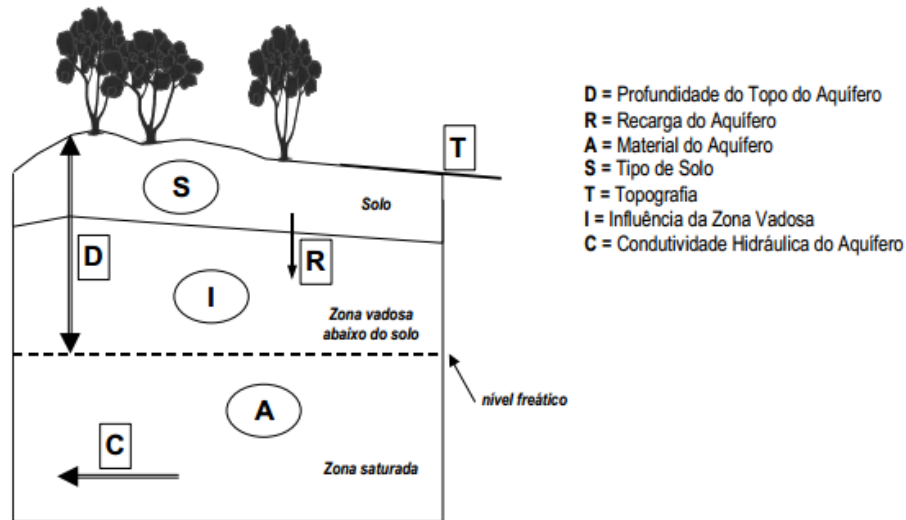
### Modelo DRASTIC

Este modelo tem o objetivo de avaliar a qualidade das águas subterrâneas e o seu potencial de poluição para áreas extensas superiores a 0,4 km<sup>2</sup> e a aquíferos freáticos, usando o seu enquadramento hidrogeológico. Aller *et al.*, (1987) considera que o contaminante é transportado verticalmente até ao aquífero pela água de infiltração, assim como também a sua mobilidade é idêntica à da água.

O índice de vulnerabilidade DRASTIC, cujo nome resulta das iniciais do somatório da média ponderada de 7 parâmetros (ou indicadores hidrogeológicos) de uma determinada área:

- 1- (D) epth to water (profundidade ao topo do aquífero);
- 2- (R) echarge (recarga do aquífero);
- 3- (A) quifer media (material do aquífero);
- 4- (S) oil media (tipo de solo);
- 5- (T) opography (topografia);
- 6- (I) mpact of the vadose zone (impacto da zona não saturada);
- 7- (C) onductivity (condutividade hidráulica).

Cada parâmetro, Figura 2.2, por sua vez subdivide-se em diferentes classes e a cada classe é atribuído um índice que pode variar de 1 a 10. Para se obter o índice DRASTIC final, é atribuído um fator de ponderação baseado na importância relativa desse fator no potencial de poluição (Stigter & Dill, 2000).



**Figura 2.2** Parâmetros incorporados no método DRASTIC (LNEC, 2002)

Na aplicação desta metodologia considera-se um conjunto de procedimentos que permitem analisar vários parâmetros caracterizadores do meio subterrâneo e das particularidades da área de estudo, através da divisão em escalas e tipos de meios significativos que condicionam o seu potencial de poluição (Lobo-Ferreira, 1998). Cada um dos parâmetros referidos, é subdividido em classes representativas, ao qual é atribuído um índice (*i*) que pode variar entre 1 e 10 de modo a obter-se uma correspondência com as características hidrogeológicas locais (valores mais elevados, correspondem a uma maior vulnerabilidade). Posteriormente, efetua-se a multiplicação desses valores pela proporção (*P*) relativa de cada parâmetro (valor pré-determinado que representa a importância relativa na determinação da vulnerabilidade desse parâmetro, e que varia entre 1 e 5), por fim, adicionam-se os diversos produtos obtidos através da aplicação da fórmula (Aller *et al.*, 1987):

$$\text{DRASTIC} = 5 \times D + 4 \times R + 3 \times A + 2 \times S + 1 \times T + 5 \times I + 3 \times C \quad \text{Equação 2.1}$$

**Quadro 2.1** Ponderação dos parâmetros DRASTIC (Aller *et al.*, 1987).

Parâmetro	Significado	Fator de Ponderação
D	Profundidade da toalha freática	5
R	Recarga anual dos aquíferos através da precipitação	4
A	Geologia do aquífero	3
S	Tipo de Solo	2
T	Declives do terreno	1
I	Influência da zona vadosa	5
C	Condutividade Hidráulica	3

Aller *et al.*, (1987) considera que este índice assume as seguintes condições:

- O contaminante é introduzido à superfície do solo;
- O contaminante chega às águas subterrâneas através da infiltração das águas da chuva;
- O contaminante tem a mobilidade da água;
- O índice deverá ser aplicado a uma área mínima de 40,5 hectares.

Exemplos de aplicação do modelo DRASTIC a casos particulares de estudo em áreas afetadas pela poluição agrícola no Algarve e Alentejo estão descritos em Stigter *et al.*, (2005), Paralta (2009) respetivamente e Lobo-Ferreira (1998) descreve diversos métodos “clássicos” e indexados disponíveis na Europa e nos EUA para avaliar a vulnerabilidade à poluição.

De acordo com o método do índice DRASTIC, a vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas é tanto maior quanto maior o índice. Aller *et al.*, (1987) divide a classificação da vulnerabilidade do DRASTIC em 8 classes, contudo para uma melhor compreensão dos valores finais usar-se-á a classificação adotada pelo LNEC (2002), que é a seguinte:

**Tabela 2.6** Classes de Vulnerabilidade DRASTIC.

Vulnerabilidade	Baixa	Intermédia	Elevada	Muito Elevada
	< 120	120 - 159	160– 199	> 199

### Índice de Susceptibilidade (IS)

Um índice de susceptibilidade permite avaliar a vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação de natureza agrícola, onde há uma preocupação especial com a lixiviação dos nitratos e de pesticidas para as águas subterrâneas, e que pode ser aplicado a média/larga escala (1:50 000 – 1:200 000).

O índice foi construído através de uma modificação do método DRASTIC desenvolvido por Aller *et al.*, (1987) pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA). Três parâmetros do DRASTIC foram deliberadamente deixados de parte, atribuindo um menor peso à influência direta das práticas agrícolas.

O novo método simplifica o sistema hidrogeológico em termos do número de variáveis importantes para a determinação da vulnerabilidade, e introduz um parâmetro relacionado com a ocupação do solo, que pretende dar uma ideia do impacte ambiental desse uso do solo para a contaminação das águas subterrâneas, abandonando assim o caráter intrínseco (Stigter *et al.*, 2002).

$$IS = 0,186 \times D + 0,212 \times R + 0,259 \times A + 0,121 \times T + 0,222 \times LU \quad \text{Equação 2.2}$$

Para facilitar a leitura do resultado final, os valores que no DRASTIC variavam entre 1 e 10, são multiplicados por 10 (Francés *et al.*, 2001 *in* Stigter *et al.*, 2002). O quinto parâmetro que foi acrescentado, é relativo ao uso do solo e envolve as atividades exercidas no terreno, que constituem as potenciais fontes de contaminação dos aquíferos. Este é dividido em classes e os valores atribuídos variam de 0 a 100, em que o valor 100 indica as atividades mais poluentes (Stigter *et al.*, 2002; Ribeiro, 2005).

Este índice consiste na adaptação do índice de vulnerabilidade DRASTIC, com o acréscimo de um parâmetro de ocupação do solo (LU), abandonando assim o conceito de um índice estritamente intrínseco, baseado unicamente nas condições naturais. Este índice tem o objetivo de avaliar a vulnerabilidade específica, definida pelos impactos potenciais do uso específico dos solos e dos contaminantes associados a esse uso e é calculado pela soma ponderada de cinco parâmetros abaixo descritos (Stigter *et al.*, 2002; Ribeiro, 2005).

**Quadro 2.2** Ponderação dos parâmetros IS (Aller *et al.*, 1987).

Parâmetro	Significado	Fator de Ponderação
D	Profundidade da toalha freática	0,186
R	Recarga anual dos aquíferos através da precipitação	0,212
A	Geologia do aquífero	0,259
T	Declives do terreno	0,121
LU	Ocupação do solo	0,222

A classificação final do IS será:

**Tabela 2.7** Classes de Vulnerabilidade IS.

Vulnerabilidade	Baixa	Intermédia	Alta	Muito Alta
	0 - 45	45 - 65	65 - 85	85 - 100

Stigter *et al.*, (2006), aplicaram o método DRASTIC e o índice de susceptibilidade (IS) a duas regiões algarvias, Campina da Luz e Campina de Faro e detetaram que a contaminação por nitratos e os níveis de salinização encontrados na área em estudo são controlados por dois fatores: o primeiro fator, entrada de azoto à superfície que depende do uso do solo e o segundo fator, processo de reciclagem das águas subterrâneas. O comportamento conservativo destes contaminantes não permitiu uma correta avaliação da vulnerabilidade por métodos intrínsecos como o DRASTIC, que dão grande importância à capacidade de atenuação dos parâmetros hidrogeológicos envolventes. Citando Stigter *et al.*, (2006), “é claramente visível nos casos de estudo que a diluição em vez da atenuação é o fator chave na redução dos níveis de contaminação”.

## 2.6 Fatores que influenciam a Qualidade da Água Subterrânea

Devido ao crescimento exponencial da população mundial e de forma a corresponder às necessidades alimentares, a pressão nas águas subterrâneas têm vindo a aumentar, à medida que crescem as necessidades de aumentar as produções. As práticas agrícolas tradicionais têm vindo a ser abandonadas, sendo então promovidas novas práticas agrícolas onde muitas vezes utilizam-se adubos inorgânicos e pesticidas, em substituição dos tradicionais orgânicos (Cruz, 1992).

A deterioração da qualidade da água subterrânea pode ser provocada por maneira direta ou indireta, por atividades humanas ou por processos naturais, sendo

mais frequente a ação combinada de ambos os fatores. Apesar de serem inúmeros os fatores que contribuem negativamente para a degradação da qualidade da água, nesta dissertação iremos dar mais atenção a fatores como a concentração em nitratos e salinização.

Entre as potenciais ameaças de poluição à água subterrânea (Quadro 2.3) estão o uso intensivo de adubos, fertilizantes e pesticidas em atividades agrícolas e não agrícolas; a deposição de resíduos industriais sólidos e líquidos ou de produtos que podem ser dissolvidos e arrastados por águas de infiltração em terrenos muito vulneráveis, a deposição de dejetos animais resultantes de atividades agro-pecuárias; a construção incorreta de fossas sépticas; a utilização de herbicidas e fungicidas em zonas agrícolas e campos de golfe; a sobre-exploração dos aquíferos em zonas sensíveis de que resultam a degradação dos ecossistemas, a intrusão marinha e a subsidência dos solos (INE, 2011).

É reconhecido que o uso de pesticidas degrada a qualidade das águas subterrâneas. Os efeitos adversos que provocam estão relacionados com a respetiva composição química, que condiciona a sua persistência, bem como com as condições em que são aplicados. De um modo geral, os herbicidas são os de maior consumo na agricultura, não sendo, no entanto, os mais tóxicos, enquanto os fungicidas têm utilização mais limitada. Os inseticidas são os que apresentam maior toxicidade.

Na região do Algarve, não existem dados sobre as quantidades de substâncias perigosas aplicadas no sector agrícola (PROTAL, 2004). Segundo a *World Health Organization* (WHO, 1996), os sulfatos em níveis elevados podem causar desidratação e irritação gastrointestinal, assim como podem contribuir para a corrosão dos sistemas de distribuição. O sódio encontra-se presente nos alimentos e na água potável. Em concentrações elevadas poderá estar associado à hipertensão assim como pelo saber da água para beber quando a sua presença na água se encontra acima dos 200 mg/l. O cálcio e o magnésio são responsáveis pela dureza da água. A principal fonte natural de dureza na água são iões metálicos polivalentes dissolvidos provenientes das rochas sedimentárias e de escorrências dos solos. Não existem efeitos adversos na saúde humana.

**Quadro 2.3** Classificação de cenários relacionados com a qualidade da água subterrânea (Foster *et al.*, 2002).

<b>Tipo de Problema</b>	<b>Causa</b>	<b>Contaminantes</b>
<u>Poluição de Aquíferos</u>	Inadequada proteção de aquíferos vulneráveis contra descartes feitos pelo homem a partir de atividades domésticas e industriais e a intensificação da atividade agrícola.	Microorganismos patogénicos, nitrato, cloreto, sulfato, boro, arsénio, metais ambientalmente impactantes, carbono orgânico dissolvido, hidrocarbonetos aromáticos e halogenados, pesticidas.
<u>Contaminação perto de poços</u>	Inadequada construção de poços permitindo intrusão direta de água superficial ou água subterrânea poluída pouco profunda.	Principalmente microorganismos patogénicos.
<u>Intrusão Salina</u>	Exploração intensa provocando influência de água subterrânea (algumas vezes poluída) no fluxo de aquíferos limpos.	Principalmente cloreto de sódio, mas pode também ser incluídos contaminantes persistentes gerados pelo homem.
<u>Ocorrência de contaminação natural</u>	Transformação da composição química da água subterrânea.	Principalmente fluoreto e ferro solúvel, algumas vezes sulfato de magnésio, arsénio, manganês, selénio e outras espécies inorgânicas.

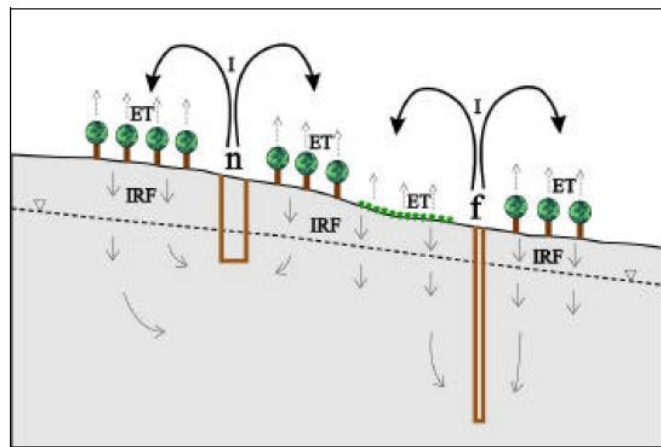
### Nitratos

A origem principal da contaminação por nitratos envolve quase sempre o uso intensivo de fertilizantes nas práticas agrícolas. Devido à sua extrema mobilidade, o nitrato presente nos fertilizantes azotados, chegam rapidamente às águas subterrâneas por lixiviação. Quando o nitrato atinge os aquíferos, permanece durante décadas mesmo que haja uma significativa redução de nitratos à superfície.

Stigter & Dill (2000) consideram que o aumento das concentrações do ião nitrato não se deve somente ao uso excessivo de fertilizantes, mas também é induzido por outras práticas agrícolas, nomeadamente pela rega. A aplicação de estrumes contribuem igualmente para o aumento de nitratos, devido à nitrificação do amónio resultante da fermentação de compostos orgânicos azotados, e outros compostos inorgânicos, além de ocasionar contaminação do tipo microbiológico (INE, 2011). As práticas de regadio provocam o aumento generalizado dos sais, devido à alternância de ciclos de evapotranspiração. Em particular as práticas denominadas de reciclagem

cíclica que consiste na reutilização da água de retorno, propicia o aumento de mineralização assim como o aumento do teor em cloretos.

Stigter & Dill (2000) explicam, segundo a Figura 2.3, que este fenómeno inicia-se quando a água subterrânea extraída por noras (n) e furos (f) é utilizada para rega, em que uma parte é imediatamente evaporada, enquanto que a maior parte é extraída pelas plantas e transpirada. A fração da água que retorna ao aquífero encontra-se concentrada em sólidos dissolvidos e vai-se misturar com as águas do aquífero, contribuindo assim para o aumento da concentração dos iões em solução na água subterrânea, nomeadamente aumento do teor em cloretos. O fenómeno repete-se constantemente, denominado por “reciclagem cíclica”.



**Figura 2.3** Ciclo da Água Subterrânea (Stigter & Dill, 2000).

**I:** irrigação; **ET:** evapotranspiração; **IRF:** *irrigation return flow* (fração da água que retorna ao aquífero).

Os compostos azotados no solo encontram-se sob diversas formas num estado de equilíbrio dinâmico. Em condições aeróbias e em presença de matéria orgânica abundante, os processos de amonificação e de nitrificação, provocam a mineralização do azoto orgânico em nitrato, que constitui o produto final e estável destas reações (INE, 2011).

Em Portugal um diagnóstico e uma caracterização da qualidade das águas subterrâneas realizados no âmbito dos Planos de Bacia Hidrográfica mostrou níveis de concentração preocupantes de nitratos de origem agrícola em alguns sistemas aquíferos do país ultrapassando em muitos casos o (VMA) que é de 50 mg/l de  $\text{NO}_3$  (Ribeiro *et al.*, 2002).

As águas que contenham ou apresentem risco de conter uma concentração de nitratos superior ao VMA são consideradas poluídas por nitratos. A toxicidade dos

nitratos é principalmente atribuível à sua redução a nitrito e o maior efeito biológico dos nitritos em humanos é o seu envolvimento na oxidação da hemoglobina (Hb) a metahemoglobina (metHb). Concentrações de nitrato elevadas causam meta-hemoglobinemia severa em recém-nascidos e adultos. A metahemoglobinemia infantil, também chamada de doença dos bebês azuis. (Vale & Haie, 2006).

Amostras efetuadas em 27 pontos no aquífero da Campina de Faro, região localizada a sul de Portugal continental, mostraram que o conteúdo de nitratos na grande maioria dos pontos fica acima dos limites recomendados. Devido às atividades agrícolas verificou-se um aumento de nitratos, sulfatos e de outros iões na água subterrânea deste aquífero (Almeida & Silva, 1987).

Stigter *et al.*, (2006) revelaram que os níveis de contaminação por nitratos e salinização nessa região são principalmente controlados por dois fatores: volume de entrada de azoto à superfície, que depende do uso do solo e da eficácia do processo de reciclagem das águas subterrâneas. Foi também provado que a diluição em vez da atenuação é o fator chave para a redução dos níveis de contaminação.

### **Salinização**

A origem do cloreto em águas de superfície e em águas subterrâneas pode ter origem natural como intrusão salina, dissolução de minerais evaporíticos, drenagem de água e origem antropogénica, como o uso de fertilizantes inorgânicos. Nos EUA, foram encontrados aquíferos costeiros contaminados por intrusão salina que continham concentrações de cloreto que variavam desde os 5 mg/l até aos 460 mg/l. Em águas não poluídas os níveis de cloretos são frequentemente abaixo dos 10 mg/l e por vezes abaixo do 1 mg/l. O cloreto aumenta a condutividade elétrica da água assim como a sua corrosividade. Concentrações acima dos 250 mg/l poderão dar um sabor à água, contudo não foram registados casos de toxicidade por cloretos em humanos. Apenas a hipertensão está associada à ingestão de cloreto de sódio.

Em Portugal, os problemas atuais de salinização de aquíferos costeiros (principalmente no Algarve, Madeira e Porto Santo) devem-se essencialmente a sobre-exploração de água subterrânea, que conduz ao mesmo efeito. A aceleração da taxa de elevação do nível médio do mar agravará necessariamente os problemas já existentes e muito provavelmente conduzirá à expansão destes efeitos a aquíferos costeiros

presentemente não contaminados (Andrade & Freitas, 2001 *in* Andrade & Freitas, 2009). Uma vez instalada, a intrusão salina não é fácil de controlar e a sua correção é morosa e sempre muito dispendiosa.

No aquífero de Quarteira foi detetado a degradação da água devido a elevadas mineralizações nas águas deste sistema aquífero, justificado pela dissolução de minerais evaporíticos (gesso e sal-gema). Este fenómeno é responsável pelo aumento de sulfatos, cálcio, magnésio, sódio e cloreto verificado em alguns sistemas aquíferos do Algarve. Existem igualmente casos em que estão bem identificados fenómenos de degradação da qualidade da água associados ao uso do solo. O excesso de irrigação (responsável pela lixiviação de fertilizantes), é um dos principais processos associados à degradação da qualidade da água à escala regional.

Outras origens de salinização, como a intrusão salina e a exploração agrícola contribuem em grande escala para o problema da salinização de aquíferos. Em baixo, irão ser descritas de uma forma resumida, a dinâmica da intrusão salina e em que medida a prática agrícola poderá dar a sua contribuição.

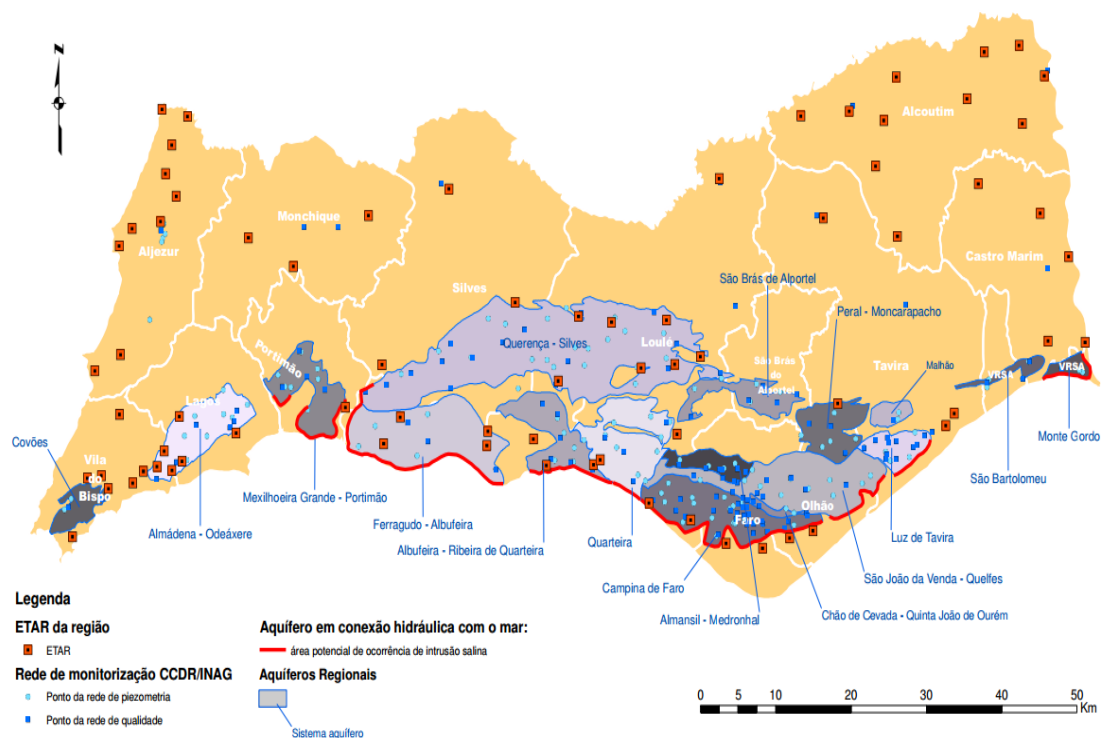
## **2.7 Intrusão Salina e Exploração Agrícola**

O fenómeno da intrusão salina apresenta uma evolução lenta e como se processa no subsolo, não havendo redes de monitorização, os seus efeitos só são sentidos quando as captações já estão afetadas. Os aquíferos costeiros possuem em equilíbrio dinâmico a água salgada do mar e água doce continental, se as quantidades de água doce extraídas nas captações forem superiores à recarga, este desequilíbrio vai desencadear a penetração da água salgada para o interior (Ferreira da Silva & Haie, 2000).

A intrusão salina reduz o armazenamento de água doce nos aquíferos costeiros e pode resultar no abandono de poços de abastecimento de água doce quando as concentrações dos iões dissolvidos excedem os valores padrão para a água potável. A extensão da intrusão da água salgada num aquífero depende de vários fatores, como a taxa total de água subterrânea que é retirada em relação ao total de água doce que serve de recarga do aquífero, fontes de água salgada, a estrutura geológica e a distribuição das propriedades hidráulicas do aquífero, entre outros fatores (Kumar, 2006).

Monteiro, *et al.*, (2005) consideram que a origem da salinização por dissolução de rochas evaporíticas e a intrusão salina não são fáceis de distinguir e também o efeito na qualidade da água que resulta da dissolução de minerais evaporíticos nem sempre é fácil de distinguir-se do aumento de mineralização que ocorre por vezes em aquíferos costeiros em conexão hidráulica com o mar, devido à deslocação da interface entre a água salgada e a água doce para o interior. A identificação de concentrações anómalas de cloretos em amostras de água colhidas em pontos de água junto à costa, está frequentemente associada à dissolução de minerais evaporíticos, sendo as ocorrências deste tipo, por vezes, difíceis de distinguir de mistura com água do mar (Martins *et al.*, 2006).

Na Figura 2.4, ilustram-se delimitadas a vermelho as zonas dos principais sistemas aquíferos do Algarve onde é previsível que se verifique conexão hidráulica com águas de superfície, passível de induzir fenómenos de intrusão salina (Martins *et al.*, 2006).



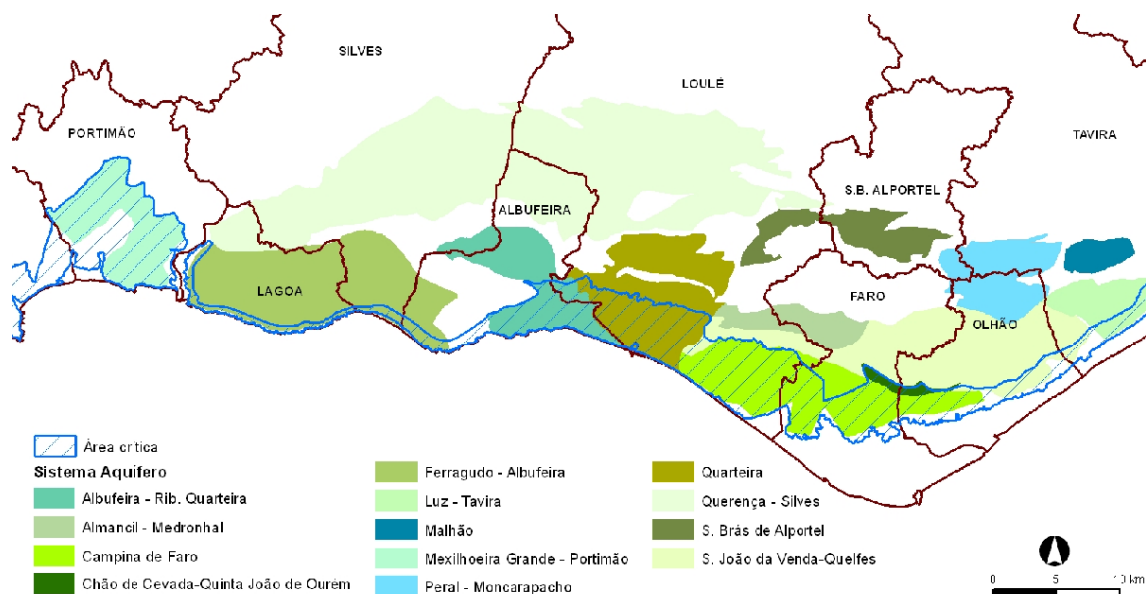
**Figura 2.4** Identificação de zonas potencialmente associadas a riscos de degradação de qualidade de água (Martins *et al.*, 2006).

A sobre-exploração dos aquíferos conduz a situações que com frequência são referidas como de sobre-exploração. A exploração intensiva pode gerar uma invasão

progressiva da água do mar, resultante do avanço da interface água doce - água salgada, que resulta uma contaminação salina da água subterrânea captada nos furos. A fim de controlar os volumes de extração dos aquíferos costeiros, de forma a garantir a sua preservação qualitativa e quantitativa, foram delimitadas áreas críticas. A área crítica corresponde a uma faixa junto ao litoral do Algarve (tracejado a azul) como se pode verificar na Figura 2.5, onde não é permitido o aumento do volume de água subterrânea a extrair, de modo a prevenir eventuais fenómenos de intrusão salina. Devido ao elevado número de pedidos de autorização para aumento de extração de água nesta zona e aos conflitos daí decorrentes, o Plano de Gestão da Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Algarve (PGBH) propõe a elaboração de um Plano Específico de Gestão da Água (PEGA) para a referida área crítica.

Algumas medidas de gestão dos recursos hídricos na área crítica que deverão constar do PEGA a elaborar:

- Definição de condições específicas de execução e exploração das captações de água subterrânea;
- Controlo das extrações de água, com instalação de contadores nas captações;
- Diminuição dos volumes de extração de água autorizados e prioridades de uso em situações de escassez de água.



**Figura 2.5** Área crítica entre Portimão e Tavira (Reis & Gago, 2013).

Um dos riscos mais conhecidos resultantes da atividade agrícola é a poluição difusa com fertilizantes. Pode-se afirmar que, nas condições hidrogeológicas predominantes na bacia, todos os aquíferos são vulneráveis. De facto, uma das consequências mais conhecidas deste tipo de contaminação é o aumento dos nitratos nas águas subterrâneas.

Relativamente à utilização de pesticidas a maioria são introduzidos deliberadamente quando se realizam os tratamentos pretendidos. Entes as diferentes actividades onde estas moléculas podem ser utilizadas, a agricultura é de longe o sector que mais pesticidas utiliza. A UE representa actualmente um quarto do mercado mundial de pesticidas de uso agrícola, com aproximadamente 320 000t de substâncias activas vendidas por ano. Os fungicidas são o tipo de produtos mais vendido (cerca de 43% do mercado), seguindo os herbicidas (36%) e os insecticidas (12%) (Larson *et al.*, 1997).

Estudos efectuados em Portugal têm demonstrado, igualmente, a presença de pesticidas aplicados em arroz nas amostras de água subterrânea (Batista *et al.*, 2002). Uma vez nos cursos de água, os pesticidas podem originar efeitos difíceis de avaliar e acumular-se, levando a que o impacte desta contaminação atinja níveis muito superiores aos inicialmente previstos.

## **2.8 Medidas de Apoio à Decisão**

O rápido desenvolvimento das tecnologias de informação, as capacidades de gestão e modelação de bases de dados e ao processamento espacial de informação e de representação gráfica, têm criado condições para o aparecimento de novos e melhorados meios de suporte ao planeamento e à gestão de recursos hídricos. Na última década, modelos de simulação, de optimização e decisão, bases de dados e sistemas de informação geográfica têm sido ferramentas largamente utilizadas isoladamente no planeamento e gestão de recursos hídricos (Vieira, 2000).

Os sistemas de informação geográfica (SIG) são sistemas que permitem recolher, armazenar e analisar objetos e processos em relação aos quais a localização espacial é uma característica importante ou crucial para o problema (Fernandez *et al.*, 2007). As potencialidades ao nível do processamento e análise de dados georeferenciados e da criação de Sistemas de Apoio à Decisão, constituem modernas

ferramentas de gestão e ordenamento do território com aplicação crescente em todas as áreas das Geociências e do Ambiente (Paralta *et al.*, 2001). Estes baseiam-se em métodos de otimização que através de programação linear, não linear, dinâmica, etc., determinam os valores de decisão capazes de otimizar a uma função objetivo, respeitando as restrições pré-estabelecidas (Cunha, 2006 *in* Tenreiro *et al.*, 2008).

Esses métodos, que são utilizados com o fim de preservar a qualidade química da água, devem ser de fácil aplicação e económicos, e os resultados devem ser apresentados de forma a que sejam entendidos e bem interpretados pelos gestores, para servirem como elemento de apoio à tomada de decisão (Stigter *et al.*, 2002).

Diversos trabalhos foram desenvolvidos e de aplicação diversificada com o auxílio desta ferramenta de trabalho, desde o estudo integrado das águas superficiais com as águas subterrâneas, da gestão da água subterrânea (Campos, 2004; Paralta *et al.*, 2001; Fernandez *et al.*, 2007) gestão de ambientes costeiros (Freitas *et al.*, 2009).

### 3 ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO

#### 3.1 Introdução

Neste ponto, apenas serão referidas as principais leis e diretivas, comunitárias e nacionais com relevância para a gestão e proteção de aquíferos, nomeadamente nos aspetos relacionados com os problemas de poluição.

Os recursos hídricos são um bem escasso e facilmente degradável e é neste sentido que surgem instrumentos de gestão territorial que incluem medidas adequadas à sua proteção e valorização de modo a que a sua utilização seja sustentável. Para garantir a sua utilização e proteção de forma sustentável tem sido produzida diversa legislação, comunitária e nacional, relativamente à aptidão para consumo humano assim como à problemática da poluição agrícola.

Para efeitos legislativos consideram-se as seguintes definições:

*Água subterrânea:* toda a água que se situa abaixo da superfície do solo na zona de saturação e em contacto direto com o solo ou o subsolo;

*Bacia Hidrográfica:* a área terrestre a partir do qual todas as águas fluem, através de uma sequência de ribeiros, rios e eventualmente lagos para o mar, desembocando numa única foz, estuário ou delta.

As bases da Política de Ambiente são definidas pela Lei n.º 11/87 de 7 de Abril (Alterada pela Lei n.º 13/2002, de 19 de Fevereiro) e tem por fim otimizar e garantir a continuidade de utilização dos recursos naturais, qualitativa e quantitativamente, como pressuposto básico de um desenvolvimento auto-sustentado.

A proteção das águas subterrâneas foi, efetivamente, um dos motivos principais que levou a Comissão Europeia a apresentar, em 1997, uma Proposta de Diretiva-Quadro que estabelecia um quadro de ação comunitária no domínio da política da água, designada por Diretiva-Quadro da Água (DQA). Esta Diretiva (2000/60/CE) foi transposta para a legislação nacional na Lei da Água (Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro) tem como principal objetivo atingir em 2015 o bom estado de todas as águas de superfície (rios, lagos, águas costeiras e de transição) e subterrâneas estabelecendo um sistema de medidas com vista à sua proteção, prevenção de deterioração e proteção.

O enquadramento teórico da DQA aponta claramente para uma visão moderna de gestão da procura e de gestão integrada da água e do território.

Para as águas subterrâneas importa assegurar o bom estado quantitativo e o bom estado químico. No bom estado quantitativo pretende-se que o nível da água na massa subterrânea seja tal que os recursos hídricos subterrâneos disponíveis não ultrapassem a taxa média anual de captação a longo prazo (INAG, 2006). No que respeita ao bom estado químico, a composição química da massa de água subterrânea deve ser tal que:

- Não ultrapasse as normas de qualidade ambiental;
- Não apresente os efeitos de intrusões salinas ou outras;
- Não impossibilite de serem alcançados os objetivos ambientais das águas de superfície associadas ou reduza significativamente a qualidade química ou ecológica dessas águas;
- Não provoque danos significativos nos ecossistemas terrestres diretamente dependentes da massa de água subterrânea.

A Diretiva 2006/118/CE é relativa à proteção das águas subterrâneas contra a poluição e a deterioração, por sua vez, a Diretiva 80/68/CEE do Conselho, de 17 de Dezembro de 1979 define a proteção das águas subterrâneas contra a poluição causada por certas substâncias perigosas (listadas na Diretiva).

O Decreto-Lei n.º382/99, de 22 de Setembro, estabelece as normas e os critérios para a delimitação de perímetros de proteção de captações de águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público que extraem um mínimo de 100m<sup>3</sup>/dia ou que abasteçam aglomerados populacionais de mais de 500 habitantes, com a finalidade de proteger a qualidade das águas dessas captações. A delimitação desses perímetros, obedece a critérios geológicos, hidrogeológicos e económicos, estabelecidos em função das características do aquífero em que se encontra a captação.

O Plano Nacional da Água (PNA) foi aprovado pelo Decreto-Lei n.º 112/02, de 17 de Abril. Este plano surge como um elemento enquadrador, estratégico e programático do processo de planeamento de recursos hídricos tendo como objetivo a contribuição para a reestruturação do sistema normativo e institucional dos recursos hídricos.

### 3.2 Diretiva Nitratos

Diretiva 91/676/CEE do Conselho, de 12 de Dezembro de 1991, relativa à proteção das águas contra a poluição causada por nitratos de origem agrícola, estabelece que os Estados-membros têm que identificar zonas vulneráveis à poluição. Entende-se por zonas vulneráveis (Figura 3.1), as áreas que drenam para águas poluídas ou susceptíveis de o virem a ser.

Neste caso, os Estados-membros devem elaborar códigos de boas práticas agrícolas de aplicação voluntária pelos agricultores, para inverter as tendências nas áreas identificadas como vulneráveis.



**Figura 3.1** Carta das Zonas Vulneráveis em Portugal Continental (MAMAOT, 2012b).

O Decreto-Lei n.º 235/97, de 3 de Setembro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 68/99, 11 de Março, transpõe esta Diretiva para o direito interno, estabelece a redução da poluição das águas causada ou induzida por nitratos de origem agrícola, bem como impedir a propagação desta poluição.

O critério de identificação das águas subterrâneas poluídas por nitratos é: *As águas subterrâneas que contenham ou apresentem risco de conter uma concentração de nitratos superior a 50 mg/l.*

Foi elaborado e implementado nas zonas vulneráveis o “Código de Boas Práticas Agrícolas” para a proteção de água contra a poluição com nitratos de origem agrícola, onde se estabelece um conjunto de orientações gerais sobre a prática da fertilização e sobre técnicas culturais.

### **3.3 Planos de Gestão de Bacia Hidrográfica**

A Lei da Água contempla, no seu artigo 29.º, a realização do que designa por Planos de Gestão de Bacia Hidrográfica (PGBH), instrumentos de planeamento das águas, de natureza sectorial, que visam a gestão, a proteção e a valorização ambiental, social e económica das águas ao nível da bacia hidrográfica.

O conteúdo desta tipologia de planos incluirá a identificação e caracterização de todas as massas de água de uma bacia hidrográfica, a identificação das pressões, a identificação das redes de monitorização, a análise económica das utilizações da água, a definição de objetivos ambientais para as massas de água, a identificação dos objetivos socioeconómicos e a definição dos programas de medidas e ações previstos para o cumprimento dos objetivos ambientais, devidamente calendarizados, espacializados, orçamentados e com indicação das entidades responsáveis pela sua elaboração.

Nestes Planos, deverá ser efetuada a localização geográfica das zonas protegidas e identificada a legislação comunitária ou nacional ao abrigo da qual foram designadas, sendo preceituados os objetivos ambientais específicos, que podem ser mais exigentes que os globalmente estabelecidos.

### **3.4 Planos Específicos de Gestão das Águas**

Os Planos Específicos de Gestão das Águas (PEGA) são planos de recursos hídricos complementares aos PGBH, constituindo planos de intervenção mais pormenorizada, designadamente a nível de sub-bacia, sector, problema e tipo de água. A serem elaborados e executados pelas ARH, são comparáveis aos planos de gestão de bacia hidrográfica no seu conteúdo, salvaguardadas as necessárias adaptações e simplificações, e devem cumprir as obrigações legais que resultem da Lei da Água e demais legislação complementar.

As matérias e temas passíveis de serem abordados por PEGA podem incluir a requalificação e valorização da rede hidrográfica, a aplicação de boas práticas em zonas

vulneráveis e a recuperação do bom estado ecológico<sup>18</sup> de massas de água, ou conjunto de massas de água, identificadas como estando em risco de não cumprir com os objetivos estabelecidos no âmbito da DQA. Os PEGA configuram a figura jurídica de Planos Sectoriais, nos termos do Decreto-Lei n.º 380/99, de 22 de Setembro, com a redação dada pelo Decreto-lei n.º 46/2009, de 20 de Fevereiro.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Estrutura Metodológica

Este capítulo incide sobre as metodologias utilizadas para alcançar os objetivos da dissertação. A vulnerabilidade da área em estudo foi determinada recorrendo aos métodos DRASTIC e IS ambos desenvolvidos em ambiente SIG com recurso ao programa ArcGis 9.3.

Toda a análise é realizada em formato *raster*, utilizando a extensão *Spatial Analyst* do *ArcView*. As superfícies correspondentes a cada um dos parâmetros são discretizadas numa malha de resolução predefinida (neste caso de estudo 200 metros) e reclassificadas para obter as superfícies de índices. Em seguida é descrito detalhadamente cada parâmetro dos índices mencionados.

É também fundamental proceder-se à análise dos níveis piezométricos de algumas estações, assim como níveis de cloreto e de nitratos para avaliar e identificar possíveis contaminações na área. De forma a complementar as informações obtidas, ir-se-á comparar os mapas de ocupação do solo disponíveis pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA).

### 4.2 Estruturação da Base de Dados Espaciais

Para a realização dos mapas de profundidade do topo do aquífero (D), recarga (R) e condutividade hidráulica (C), foram realizadas as seguintes etapas:

- Tabulação dos dados obtidos, com suas respectivas coordenadas geográficas no Excel;
- Conversão dos dados gerados no *Excel* para o formato *geodatabase* (GDB), que auxiliou na organização e gerenciamento dos dados georeferenciados;
- Adição dos valores obtidos por meio de suas coordenadas no *ArcMap*. Após configurar os dados pôde-se então iniciar a interpolação por meio da *Spatial Analyst*;
- Após o processamento de interpolação foi gerada a imagem matricial dos dados obtidos. Estes dados foram reclassificados de acordo com os índices do DRASTIC.

Para a execução dos mapas vetoriais do material do aquífero, solo, influência da camada não saturada, cobertura e uso do solo, foram realizadas algumas etapas, tais como:

- Transformação dos mapas de vetor para *raster*;
- Reclassificação dos dados de acordo com os índices do DRASTIC e IS.

Depois de terem sido criados todos os mapas temáticos necessários à geração do índice DRASTIC e do IS modificado, a etapa seguinte para iniciar a criação do índice foi realizar a sobreposição dos vários temas (*overlays*) e a operação algébrica de soma dos mapas.

Para gerar os mapas de vulnerabilidade e risco no ArcGIS foi necessário habilitar o processador *Raster Calculator* e criar a expressão algébrica de soma para cada índice.

### 4.3 O Modelo DRASTIC e o Índice de Susceptibilidade (IS)

#### Determinação da Profundidade da Toalha freática (D)

A profundidade da toalha freática (D), define a distância vertical que um contaminante tem que atravessar para chegar ao aquífero. Quando maior a profundidade, menor a probabilidade do contaminante chegar rapidamente ao aquífero. (Stigter *et al.*, 2002).

Num aquífero livre, a profundidade é a distância ao nível freático. No caso de aquífero confinado, a profundidade é a distância ao topo do aquífero. No caso de aquífero semi-confinado deve-se optar entre a distância ao nível freático ou ao topo do aquífero (LNEC, 2002).

A informação existente para a caracterização deste parâmetro foi recolhida através da rede de monitorização de estações do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) pertencente à Agência Portuguesa do Ambiente (APA). Uma vez que no caso de aquíferos freáticos, o nível da água tende a seguir a superfície do solo, criou-se um mapa de contorno das alturas médias do lençol freático acima do nível do mar e depois subtraiu-se ao mapa topográfico, tudo em ambiente SIG. Assim,

ao mapa da superfície piezométrica subtraiu-se o mapa da superfície topográfica para se obter o mapa referente ao parâmetro D.

A profundidade do nível da água foi interpolada numa malha de 200 m, recorrendo ao método do “Inverso do Quadrado da Distância” (IDW- Inverse Distance Weighted) por produzir uma melhor estimativa dos dados num local não amostrado. Este método de análise interpola o valor do atributo, para zonas onde não é conhecido, tendo por base a média ponderada da variável nas amostras conhecidas na vizinhança.

Com estes dados foi gerado o *raster* D com cinco intervalos de profundidade do topo do aquífero e posteriormente foram reclassificados de acordo com a Tabela 4.1.

**Tabela 4.1** Classes de profundidade do topo do aquífero e respetiva classificação segundo DRASTIC e IS (Aller *et al.*, 1987).

Profundidade Topo Aquífero (m)	D	D (IS)
< 1,52	10	100
1,52 - 4,57	9	90
4,57 - 9,14	7	70
9,14 - 15,24	5	50
15,24 - 22,86	3	30
22,86 - 30,48	2	20
> 30,48	1	10

### Determinação da Recarga do aquífero (R)

A recarga anual (R) representa a quantidade de água que chega anualmente ao aquífero através da precipitação. Considera-se que uma recarga elevada aumenta a lixiviação dos contaminantes para o aquífero. (Stigter *et al.*, 2002). No entanto, um grande volume de recarga favorece a diminuição do potencial de poluição pois possibilita a diluição das substâncias poluentes (LNEC, 2002). Uma mudança na taxa de recarga de um aquífero poderá traduzir-se por um aumento ou diminuição no gradiente hidráulico através da alteração dos níveis piezométricos (NNC, 2002).

Tendo em consideração que este parâmetro é difícil de precisar, uma vez que seria necessário obter dados precisos de irrigação, e de forma a simplificar, optou-se por calcular a recarga natural aplicando uma taxa de infiltração para cada tipo de formação geológica (carta de solos) à precipitação média anual. Para o cálculo do parâmetro R foi

necessário recolher dados de precipitação média anual das estações meteorológicas, cedidas pela APA, inseridas na bacia para os períodos em questão (1985-1995; 2003-2012).

Consideraram-se as seguintes taxas de infiltração para cada tipo de formação geológica:

0,10 - formações de xistos

0,20 – areias

0,40 – zonas onde afloram formações carbonatadas

Assim a precipitação é calculada pela fórmula:

$$\text{Recarga} = \text{Precipitação} \times \text{Taxa de Infiltração} \quad \text{Equação 4.1}$$

Através das estações com dados de precipitação foram criados polígonos de Thiessen como método de interpolação. Este método de interpolação baseia-se no valor do vizinho mais próximo, ou seja, o valor escolhido para um ponto é um valor dado pelo ponto mais próximo. É então formado um polígono que delimita uma área em que todos os pontos têm o mesmo valor.

O *raster* R é constituído por 5 classes, as quais são depois reclassificadas como se pode verificar na Tabela 4.2.

**Tabela 4.2** Classes R e respectivas classificações de acordo com o DRASTIC e IS (Aller *et al.*, 1987).

Recarga (mm/ano)	R	R (IS)
< 51	1	10
51 – 102	3	30
102 – 178	6	60
178 – 254	8	80
> 254	9	90

### Levantamento do Material do Aquífero (A)

A formação hidrogeológica pode proteger melhor as águas subterrâneas que estão nessas áreas ou até mesmo facilitar a infiltração de contaminantes como se comprovou no mapa da recarga. A água está contida nos aquíferos dentro dos poros de rocha granular e rochas detríticas e nas fraturas e aberturas de rocha não granular e

rochas não detríticas. O percurso feito pelo contaminante é influenciado pelas fraturas, e quanto maior for o tamanho do grão e quanto maior o número de fraturas e aberturas, maior é a permeabilidade e menor será a capacidade de atenuação do aquífero (Aller *et al.*, 1987). O material do aquífero (A) determina a mobilidade do contaminante. Stigter *et al.*, (2002) considera que quanto maior for o tempo de residência do contaminante no aquífero, mais atenuado será o efeito do contaminante.

A determinação da litologia do aquífero, teve por base a Carta Geológica de Portugal Continental à escala de 1:25000. Para cada formação geológica atribuiu-se uma pontuação, com base na informação específica sobre o material do aquífero. Se esta informação não existir, deve-se utilizar o índice típico que se encontra dentro de parênteses, conforme a Tabela 4.3. Para a aplicação do índice de susceptibilidade (IS), os valores típicos foram multiplicados por 10.

**Tabela 4.3** Classes de natureza do aquífero e respetiva classificação segundo DRASTIC (Aller *et al.*, 1987).

Natureza do aquífero	Índice
Xisto argiloso, argilito	1 – 3 (2)
Rocha metamórfica /ígneas	2 – 5 (3)
Rocha metamórfica (ígneas alteradas)	3 – 5 (4)
“Till” glacial	4 – 6 (5)
Arenito, calcário e argilito estratificados	5 – 9 (6)
Arenito maciço	4 – 9 (6)
Calcário maciço	4 – 9 (8)
Areias e balastro	4 – 9 (8)
Basalto	2 – 10 (9)
Calcário carsificado	9 – 10 (10)

### Levantamento do Tipo de Solo (S)

O Solo (S) corresponde à parte não saturada com uma espessura normalmente inferior a 2 m, que se caracteriza pela atividade biológica intensa. Em conjunto com o meio aquífero determinam a quantidade de água de percolação que atinge a superfície freática. Os solos argilosos e siltosos possuem maior capacidade de retenção da água e portanto aumentam o tempo de permanência do contaminante na zona não saturada (Stigter & Dill, 2000).

O tipo de solo tem um significativo impacto na quantidade de recarga, mas é sobretudo pelo seu potencial atenuador da poluição que é considerado no índice

DRASTIC. São as seguintes propriedades de um solo que condicionam o potencial de poluição:

- Espessura do solo;
- Textura do solo;
- Expansibilidade/ Contratibilidade do solo;
- Teor em matéria orgânica do solo.

O mapa do parâmetro S foi produzido atribuindo o valor do índice S a partir dos vários solos que ocorrem na área de estudo. Para melhor compreender as características químicas e físicas de cada tipo de solos, foi consultado o trabalho de Kopp *et al.*, (1989) que define as características dos solos do Algarve. Para a atribuição da pontuação de 1 a 10, foi tida em consideração a textura, o teor de argila e matéria orgânica e a permeabilidade de cada tipo de solo, sendo que a pontuação máxima corresponde aos solos que mais facilitam a contaminação das águas subterrâneas. Para a aplicação do índice de susceptibilidade (IS), os valores típicos foram multiplicados por 10.

Com estes dados foi gerado o *raster* e posteriormente foram reclassificados de acordo com a Tabela 4.4.

**Tabela 4.4** Classes de solo e respetiva classificação segundo DRASTIC (Aller *et al.*, 1987).

Solo	S
Fino ou ausente	10
Balastro	10
Areia	9
Turfa	8
Argila agregada e/ou expansível	7
Franco arenoso	6
Franco	5
Franco siltoso	4
Franco argiloso	3
Lodo	2
Argila não agregada e não expansível	1

### Caracterização da Topografia (T)

A topografia (T) define os declives do terreno, que, quando mais elevados forem, mais promovem a escorrência superficial da água, evitando a sua infiltração e a lixiviação dos contaminantes. (Stigter *et al.*, 2002). Influencia ainda o desenvolvimento

de solos condicionando, desta forma, o efeito de atenuação do contaminante (LNEC, 2002).

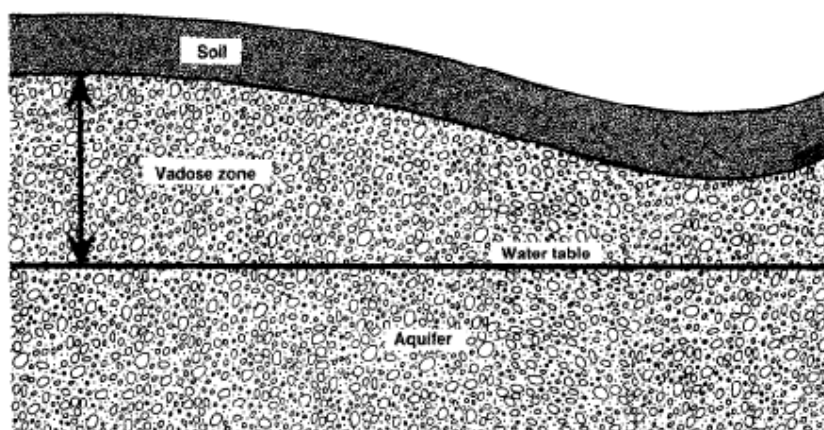
Este parâmetro foi determinado com base na carta de altimetria para o Algarve com equidistância entre as curvas de nível de 50 m. Foi necessário utilizar-se o método de interpolação por Rede de Triangulação – TIN, em que a superfície é representada como uma série de triângulos irregulares, gerados pela interpolação de temas de linhas e vértices, espaçados irregularmente, com valores das coordenadas de latitude e longitude, além da altimetria. Após a interpolação, com recurso à ferramenta Spatial Analyst foi então desenvolvido um mapa de declives, Figura 6.10 no qual se fez uma reclassificação proposta por Aller *et al.*, (1987) para poder ser utilizado no DRASTIC e no IS, Tabela 4.5.

**Tabela 4.5** Classes de declive e respetiva classificação segundo DRASTIC e IS (Aller *et al.*, 1987).

T (%)	T	T (IS)
< 2	10	100
2 – 6	9	90
6 – 12	5	50
12 – 18	3	30
18	1	10

### Caracterização da Influência da zona não saturada (I)

A zona vadosa ou camada não saturada refere-se à zona acima do nível freático que possui interstícios ocupados parcialmente por água e ar. O Impacto (I) da zona não saturada, Figura 4.1, determina o tempo que o contaminante leva a percorrer até chegar à toalha freática.



**Figura 4.1** Zona não saturada de um aquífero (Aller *et al.*, 1987).

O tipo de material da zona vadosa condiciona o tempo de contacto com o poluente, permitindo a ocorrência de diversos processos: biodegradação, neutralização, filtração mecânica, reação química, volatilização e dispersão. A fracturação nesta zona é particularmente importante pois facilita a percolação vertical do poluente até ao aquífero (LNEC, 2002). Para os cálculos do índice utiliza-se a camada que opõe maior resistência ao escoamento. (Stigter & Dill, 2000).

A determinação deste parâmetro foi baseada nas cartas geológicas de Portugal Continental à escala 1:25000. Os critérios de escolha, em relação ao intervalo de valores referentes a cada material da zona vadosa, baseiam-se nas mesmas condições utilizadas para o parâmetro A descrito anteriormente. A correspondência deste parâmetro com as formações geológicas apresenta-se na Tabela 4.6. Para a aplicação do índice de susceptibilidade (IS), os valores típicos foram multiplicados por 10.

**Tabela 4.6** Classes de tipo de material da zona não saturada e respetiva classificação segundo DRASTIC (Aller *et al.*, 1987).

Zona não saturada	Índice
Camada confinante	2 – 6 (3)
Argila/Silte	2 – 6 (3)
Xisto argiloso, argilito	2 – 6 (3)
Calcário	2 – 5 (3)
Arenito	2 – 7 (6)
Arenito, calcário e argilito estratificados	4 – 8 (6)
Areia e balastro com percentagem significativa de silte e argila	4 – 8 (6)
Areia e balastro	4 – 8 (8)
Basalto	2 – 10 (9)
Calcário carsificado	8 – 10 (10)

Os valores entre parênteses são os valores tipicamente usados para cada tipo de material.

Quando a zona não saturada é constituída por calcário carsificado é atribuída uma pontuação de 10, refletindo a facilidade com que o contaminante atinge a água subterrânea. As areias e o balastro recebem 8 de pontuação visto que estes sedimentos são permeáveis, devido ao baixo teor em argila e matéria orgânica, sendo fácil o contaminante percolar a zona não saturada e chegar ao aquífero com facilidade.

Cada material tem um intervalo de valores, apresentando-se entre parêntesis o índice típico a atribuir. A escolha do índice a atribuir deve basear-se em informação específica sobre o material da zona vadosa. Se esta informação não existir, deve-se utilizar o índice típico que se encontra dentro de parênteses.

### Determinação da Condutividade Hidráulica (C)

A Condutividade hidráulica (C) determina a quantidade de água que atravessa o aquífero por unidade de tempo e por unidade de secção. Materiais muito permeáveis diminuem o tempo que o contaminante leva a percorrer o aquífero (Stiger & Dill, 2000). Este parâmetro está relacionado com o material do aquífero e é calculado simultaneamente com o parâmetro A. Assim, para cada material é associado um valor, Tabela 4.7. Para a aplicação do índice de susceptibilidade (IS), os valores típicos foram multiplicados por 10.

**Tabela 4.7** Classes de tipo condutividade e respetiva classificação segundo DRASTIC (Aller *et al.*, 1987).

Material do Aquífero	C	(m/d)
Rocha metamórfica/ígnea alterada	1	0 – 4,1
Areias e balastro	2	4,1 – 12,2
Arenito Calcário	4	12,2 – 28,5
Calcários do Jurássico	10	> 81,5
Calcários Carcificados	10	> 81,5

Com estes dados foi gerado o *raster* e posteriormente foram reclassificados de acordo com a Tabela acima descrita.

### Determinação da Ocupação do Solo (LU)

O uso do solo descreve as atividades que ocorrem na superfície terrestre e que podem gerar contaminação. Esta informação foi retirada das cartas de ocupação do solo de 1990 e 2007 à escala de 1:25000 (COS 90 e COS 2007). Dividiu-se o solo por classes e classificou-se cada classe de acordo com o IS numa malha de 200 m.

Como a Tabela 4.8 indica, as descargas industriais e as zonas de espalhamento de lixos são consideradas as mais poluentes, enquanto as florestas, os meios semi-naturais e as superfícies com água não contribuem de modo algum na poluição dos aquíferos e são portanto classificados com valor 0.

**Tabela 4.8** Classificação da ocupação do solo, com base na carta Corine Land Cover.

<b>Área Artificial</b>	<b>Índice LU</b>
Tecido Urbano	75
Indústria, Comércio e Transportes (áreas portuárias, aeroportos, aeródromos, redes viárias e ferroviárias)	75
Áreas de extração de inertes, áreas de deposição de resíduos e estaleiros de construção (aterros, sucateiras, lixeiras e minas a céu aberto)	80
Espaços verdes urbanos, Equipamentos desportivos, culturais e de lazer, zonas históricas	75
<b>Áreas Agrícolas</b>	
Culturas Temporárias (arrozais, estufas, viveiros, culturas de sequeiro e de regadio)	90
Culturas Permanentes	70
Pastagens Permanentes	50
Áreas Agrícolas heterogéneas (culturas temporárias e/ou pastagens, sistemas culturais parcelares complexos)	50
<b>Florestas Naturais e semi-naturais</b>	
Florestas (Folhosas, Resinosas, mistas)	0
Florestas abertas e vegetação arbustiva e herbácea	0
Zonas descobertas e com pouca vegetação (Praias, dunas e areais, áreas ardidas)	0
<b>Zonas Húmidas</b>	
Zonas Húmidas Litorais (Paúis, Turfeiras, Sapais e Salinas)	50
<b>Corpos de Água</b>	
Águas Interiores (lagos, lagoas, barragens)	0
Águas Marinhas e Costeiras (lagoas costeiras, oceano)	0

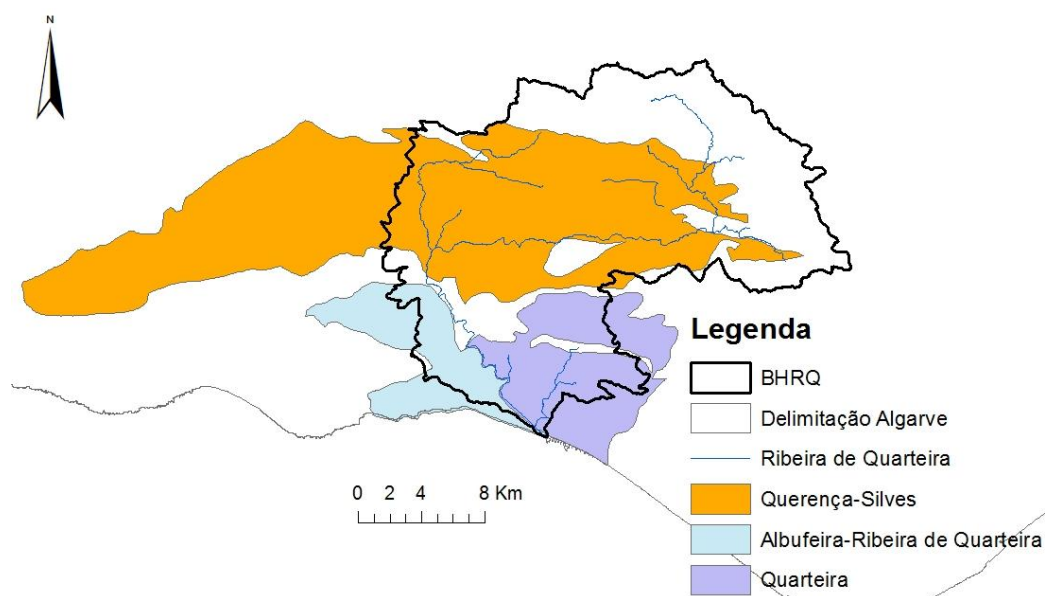
A caracterização da ocupação ou uso do solo serve de base transversal para a análise de diversos aspetos que influem sobre a gestão integrada de recursos hídricos, de onde se destacam a susceptibilidade dos solos à erosão, a modelação do comportamento hidrológico das bacias, a classificação das massas de água, a avaliação das necessidades de água e a aferição das pressões sobre as massas de água. Esta análise constitui ainda um elemento importante de base na avaliação e resolução de conflitos de uso do solo em zonas identificadas como domínio hídrico, a ter em conta na definição de objetivos e na proposta de medidas para as massas de água.

## 5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 5.1 Identificação dos Sistemas Aquíferos

A região do Algarve subdivide-se em três unidades: Serra, Barrocal e Litoral (ICN, 2004). Com cerca de 3700 km<sup>2</sup> a Serra é constituída por rochas cristalinas muito antigas. Nos restantes 1700 km<sup>2</sup>, correspondentes ao Barrocal e Litoral, as rochas são sedimentares, mais recentes e, na maior parte dos casos, muito mais permeáveis (Costa, 2006). A área em estudo, a Bacia Hidrográfica da ribeira de Quarteira, intercepta estas três unidades, contudo é no Barrocal que se concentra a maior parte, Figura 5.1.

Esta área foi considerada como objeto de estudo, uma vez que inclui três unidades aquíferas com características distintas, contudo os sistemas aquíferos de Albufeira-Ribeira de Quarteira e de Quarteira são contíguos e partilham a ribeira de Quarteira como área de descarga natural. Pelo facto de a sua localização ser próxima do mar, são sistemas em equilíbrio dinâmico, isto é, dependem intrinsecamente dos regimes de exploração e de recarga, e como tal devem ser analisados numa perspetiva integral. Julga-se interessante estudar a sua vulnerabilidade à contaminação assim como analisar e interpretar as tendências da concentração dos iões nitrato e cloreto.



**Figura 5.1** Sistemas Aquíferos contidos na BHRQ.

No Quadro 5.1 apresentam-se informações em relação à área total dos aquíferos, bem como a área dos mesmos que se encontra contida nos limites da Bacia Hidrográfica da ribeira de Quarteira.

Sistema Aquífero	Área Total (km <sup>2</sup> )	Área do Aquífero contido na Bacia (km <sup>2</sup> )	Percentagem do aquífero contido na Bacia (%)	Percentagem que ocupa na Bacia (%)
Querença- Silves	318	175	55	43
Quarteira	81	49	60	12
Quarteira- Rib. Quarteira	54	22	40	5

**Quadro 5.1.** Ocupação dos sistemas aquíferos em estudo.

### 5.1.1 Aquífero de Albufeira-Ribeira de Quarteira

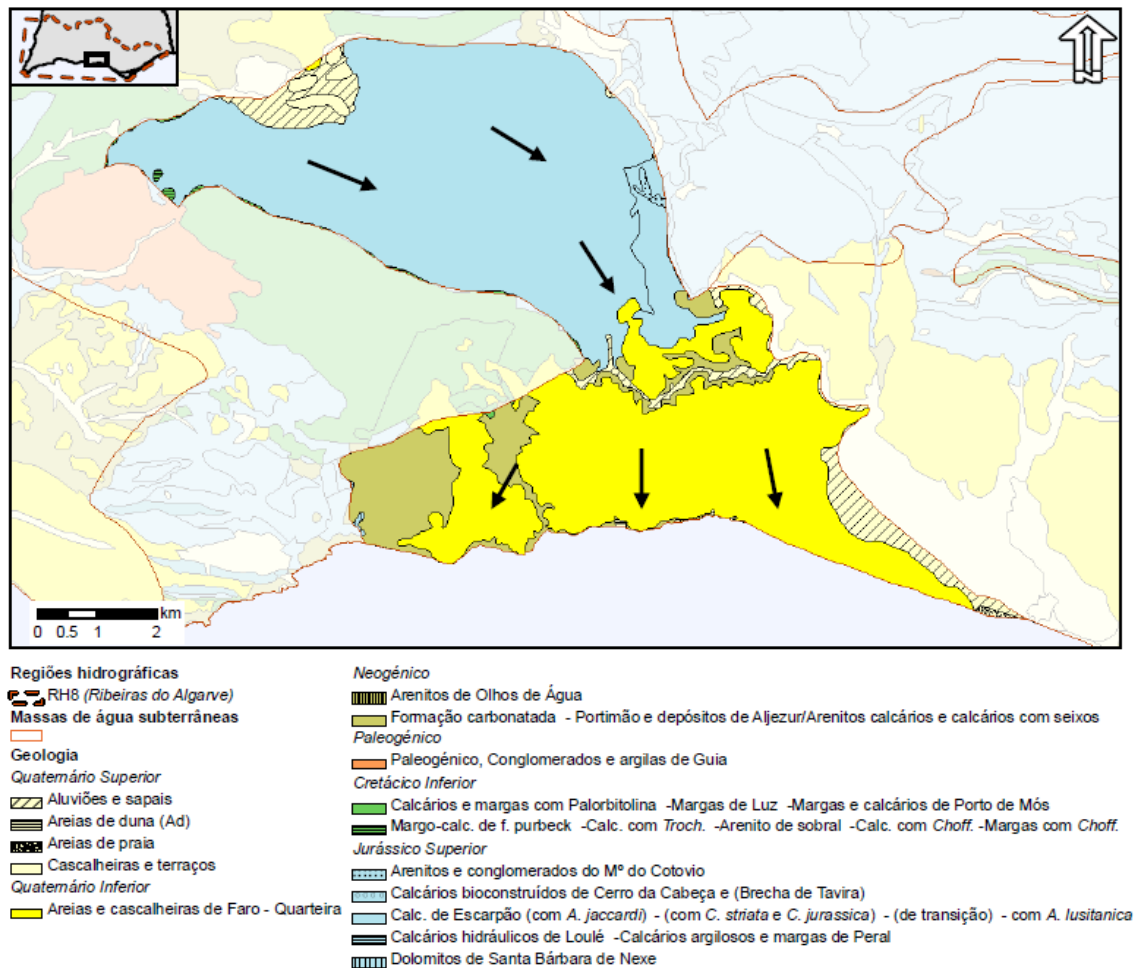
O aquífero objeto de estudo, pertence à Bacia Hidrográfica Ribeiras do Sotavento, abrange os concelhos de Albufeira, Loulé e Silves e está coberto pelas folhas 596, 605 e 606 da Carta Militar de Portugal, na escala 1: 25 000, editada pelo Instituto Geográfico do Exército. O sistema Albufeira-Ribeira de Quarteira, que ocupa uma área aproxima de 54,6 km<sup>2</sup>, é um sistema multiaquífero, constituído por um aquífero cársico e outro com características mistas poroso/cársico, livre e confinado (Almeida *et al.*, 2000).

As formações aquíferas fundamentais são de natureza detrítico-carbonatada e calcária, datadas do Miocénico e do Jurássico superior como se pode constatar na Figura 5.2. Entre os dois conjuntos intercalam-se formações menos permeáveis, de natureza detrítica e calco-margosa do Cretácico (Almeida *et al.*, 2000). A tectónica e a existência de níveis mais permeáveis permitem, em muitos casos, que sectores do aquífero superior se encontrem em conexão hidráulica com o aquífero inferior. Por outro lado, a existência de estruturas diapíricas, especialmente a Norte, condicionam em parte o modelo de circulação e também podem afetar localmente as características hidroquímicas (MAMAOT, 2012a).

A carsificação está bem desenvolvida nas formações calcárias jurássicas que afloram no Norte do sistema e que permitem a sua recarga direta no planalto do Escarpão. Foi comprovado, que uma parte desta recarga se dirige para este e nordeste, alimentando exsurgências situadas no leito da ribeira de Quarteira (Almeida & Crispim, 1987 *in* Almeida *et al.*, 2000).

A sul do sistema, as formações jurássicas são cobertas por formações miocénicas, constituídas por arenitos e calcarenitos. A fração argilosa destas últimas formações dificulta a recarga direta (INAG, 1999 *in* Stigter *et al.*, 2002). Existem vários

pontos de descarga do sistema com comportamento perene, nomeadamente em Olhos de Água, encontrando-se alguns na praia e outros no mar. A ribeira de Quarteira é efluente no seu troço terminal a sul da Ponte do Barão e influente num troço a montante da mesma (Almeida *et al.*, 2000).



**Figura 5.2** Geologia da massa de água subterrânea de Albufeira-Ribeira de Quarteira. As setas indicam a direção do fluxo subterrâneo regional (MAMAOT, 2012a).

A massa de água subterrânea é afetada, tectonicamente, pela falha de Quarteira, de orientação Noroeste- Sudeste e pela falha de Albufeira, de orientação Norte-Sul. O excessivo uso de águas subterrâneas no Algarve, em especial junto ao litoral, esteve na origem de fenómenos esporádicos de intrusão salina, que se traduziam pelo elevado teor de cloretos (salinidade). Este facto levou à delimitação, em 2002, de uma área crítica à extração de água subterrânea, na qual se condicionam novos pedidos de licenciamento de captações de águas subterrâneas (DRAOT Algarve, 2002 *in* MAMAOT, 2012a).

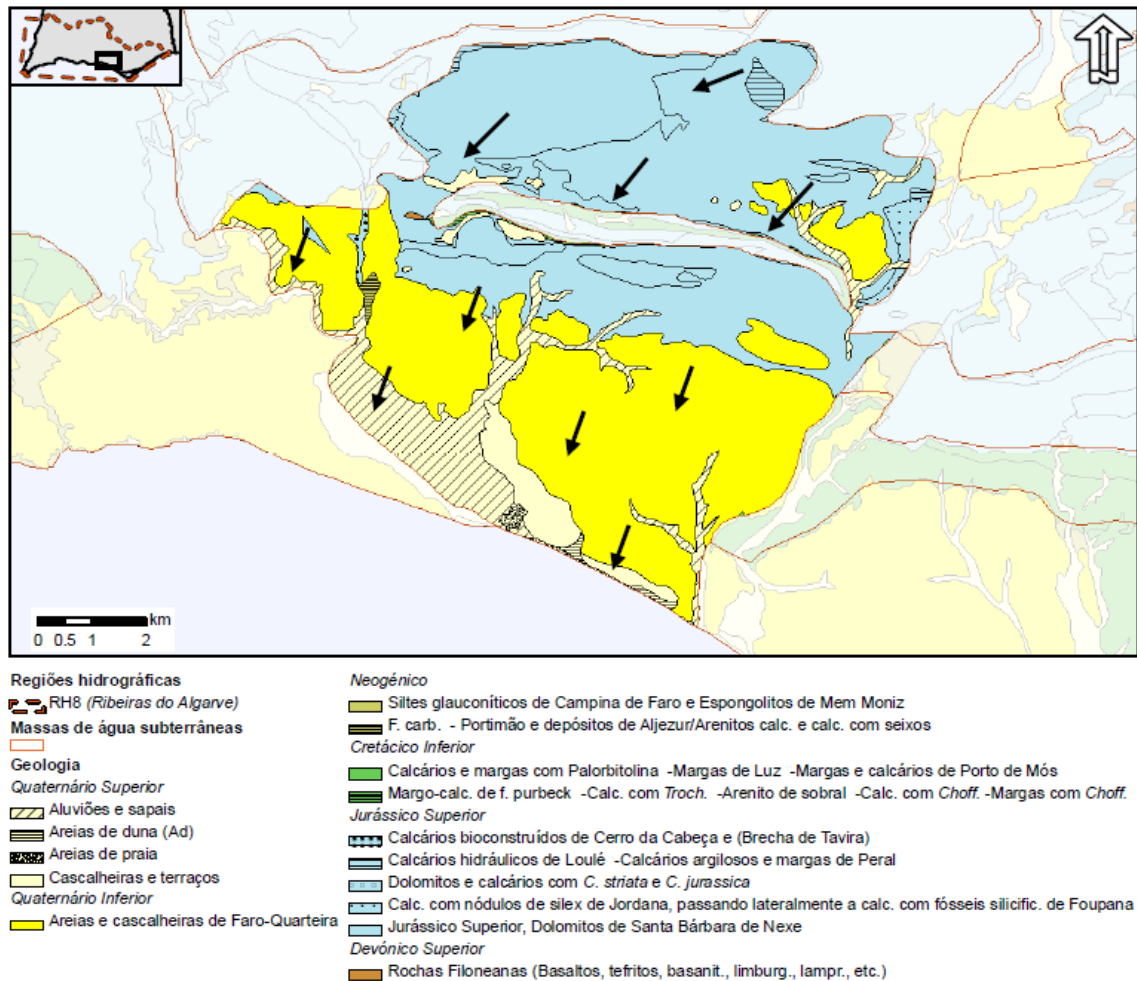
- *Exploração do sistema aquífero:*

Albufeira foi abastecida até finais da década de 50 por apenas um poço de 33 m de profundidade, prolongado por três furos situado em Olhos de Água. Este poço aberto em formações Miocénicas produzia um caudal de 20 l/s. No final da década de 70, existiam 5 captações camarárias implantadas no Miocénico que totalizavam uma capacidade de extração de 100 l/s. No início da década de 80 o concelho de Albufeira utilizava 8 furos situados entre Albufeira e a Ribeira de Quarteira, para abastecimento da rede camarária. Essas captações atingiam profundidades compreendidas entre os 61 e 180 m e produziam caudais de 17 a 45 l/s. O total de extrações nestas 8 captações em 1980 foi de  $1.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ , o que corresponde a um caudal médio de cerca de 45 l/s (Almeida & Silva, 1990 *in* Monteiro *et al.*, 2003). De acordo com os dados disponibilizados pela Câmara Municipal de Albufeira, no final da década de 90, existiam 26 captações implantadas no sistema aquífero de Albufeira-Ribeira de Quarteira exploradas para abastecimento público (Costa, 2006). Em 2000 iniciou-se o fornecimento de água de superfície no concelho de Albufeira pelo Sistema do Barlavento (Monteiro *et al.*, 2003; Costa, 2006).

### 5.1.2 Aquífero de Quarteira

O aquífero objeto de estudo, pertence à Bacia Hidrográfica Ribeiras do Sotavento, abrange os concelhos de Albufeira, Loulé e está coberto pelas folhas 596, 597, 605 e 606 da Carta Militar de Portugal, na escala 1: 25 000, editada pelo Instituto Geográfico do Exército. A área deste sistema é da ordem dos  $81 \text{ km}^2$  e trata-se de um sistema multiaquífero complexo, constituído por aquíferos, simples ou de multicamadas, uns de tipo cársico, outros de tipo poroso ou misto, livres e confinados, por vezes com artesianismo repuxante (Almeida *et al.*, 2000).

As formações aquíferas dominantes são os Dolomitos e Calcários Dolomíticos de Santa Bárbara de Nexe, os Calcários de Escarpão (Jurássico superior), a Formação Carbonatada de Lagos- Portimão (Miocénico) e as Areias e Cascalheiras de Faro-Quarteira (Quaternário), identificados na Figura 5.3 (Almeida *et al.*, 2000).



**Figura 5.3** Geologia da massa de água subterrânea de Quarteira. As setas indicam a direção do fluxo subterrâneo regional (MAMAOT, 2012a).

As principais áreas de recarga situam-se a Norte, coincidindo essencialmente com dois extensos afloramentos de calcários do Jurássico superior, o primeiro corresponde a uma região de 10 km<sup>2</sup>, cársica aplanada, situada a sul da estrada Boliqueime-Loulé e que termina na Campina de Baixo. O outro afloramento situa-se a sul da linha de relevos que vai desde o Poço de Boliqueime a Cabeço da Câmara. A recarga total será na ordem dos 15 hm<sup>3</sup>/ano (Almeida *et al.*, 2000). Segundo este autor, os aquíferos estão cobertos por areia vermelhas pouco permeáveis, ou mesmo impermeáveis nalguns sectores, como prova o artesianismo repuxante. Os calcários miocénicos assentam nalguns locais (Quinta de Quarteira e Aldeia do Golfe, perto de Vilamoura) diretamente sobre os calcários jurássicos, permitindo assim a sua conexão hidráulica.

#### - Exploração do sistema aquífero

No final da década de 90 o número total de captações implantadas no sistema aquífero de Quarteira, destinadas a abastecimento público e exploradas pela Câmara Municipal de Loulé era de 15 (Costa, 2006). Em Janeiro de 1999 iniciou-se o fornecimento de água de superfície com o Sistema do Sotavento (Monteiro, *et al.*, 2003). Atualmente, o serviço de abastecimento é assegurado exclusivamente pela empresa Águas do Algarve, S.A., e deixou de recorrer ao uso de águas subterrâneas para abastecimento público (Costa, 2006).

Segundo inventários da DRAOT Algarve e do Inventário de Saneamento Básico de 1994, as saídas para abastecimento público são na ordem dos 2 hm<sup>3</sup>/ano enquanto as saídas para rega são provavelmente superiores a 9 hm<sup>3</sup>/ano (Almeida *et al.*, 2000).

### 5.1.3 Aquífero de Querença-Silves

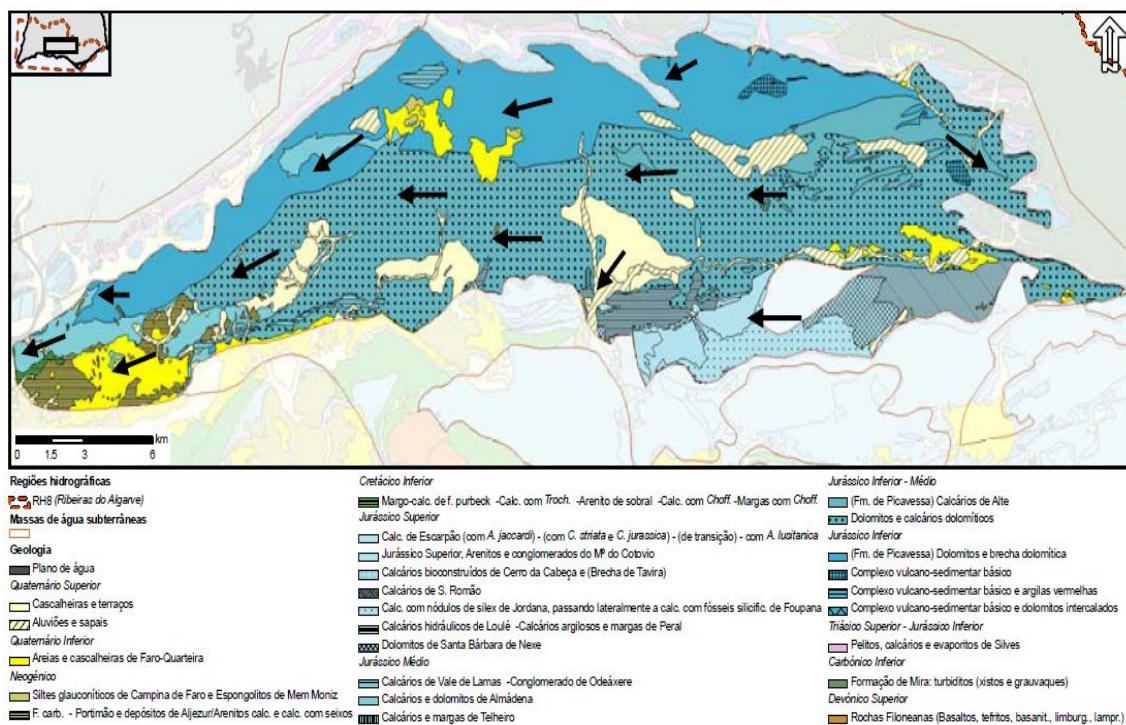
O aquífero objeto de estudo é o maior e o mais produtivo do Algarve, possui 318 km<sup>2</sup> de área, pertence à Bacia Hidrográfica Ribeiras do Sotavento e Arade, abrange os concelhos de Albufeira, Lagoa, Loulé e Silves e está coberto pelas folhas 586, 587, 588, 594, 595, 596, 597, 598 e 604 da Carta Topográfica na escala 1: 25 000, editada pelo Instituto Geográfico do Exército (Almeida *et al.*, 2000). Esta massa de água subterrânea corresponde a uma das mais importantes reservas de água para o abastecimento público do Algarve. Encontra-se dividida em subunidades com comportamento hidráulico próprio. O funcionamento hidrogeológico apresenta características de aquífero cársico, livre a confinado.

As formações aquíferas dominantes são: a Formação de Picavessa (Calcários de Alte) (Jurássico inferior), Calcários e Dolomitos de Almádena (Jurássico médio), Calcários de S. Romão, Calcários com nódulos de Silex da Jordana, Calcários Bioconstruídos do Cerro da Cabeça, Dolomitos e Calcários Dolomíticos de Santa Bárbara de Nexe, Calcários de Escarpão, Figura 5.4.

É limitada a Norte e a Este pelas formações de base do Jurássico (Arenitos de Silves, Complexo margo-carbonatado de Silves e Complexo Vulcano-Sedimentar), a sul pelos calcários margosos e margas do Caloviano Oxfordiano-Kimeridgiano, ambos com

comportamento pouco permeável, a Oeste na região de Estômbar contacta com o rio Arade (MAMAOT, 2012a).

Esta massa de água subterrânea, pelas suas características específicas, tem desempenhado um papel insubstituível na resolução de problemas mais ou menos graves de escassez de recursos hídricos para satisfazer as diferentes necessidades para uma boa parte do Algarve. Por essa razão tem havido situações de forte pressão de exploração da massa de água subterrânea, as quais, têm sido compensados em função dos anos hidrológicos (MAMAOT, 2012a).



**Figura 5.4** Geologia da massa de água subterrânea de Querença-Silves. As setas indicam a direção do fluxo subterrâneo regional (MAMAOT, 2012a).

A Fonte Grande, a Fonte do Salir e a Fonte Benémola, representam algumas das nascentes mais importantes do Algarve Central. Estas três fontes apesar de alimentarem a ribeira da Quarteira, ela própria influente em alguns troços do sistema central, as subunidades não são totalmente independentes (Almeida *et al.*, 2000).

De entre os aspectos geomorfológicos, com incidência na capacidade de infiltração, destacam-se as depressões cársticas de grande tamanho, contudo com permeabilidade vertical por vezes baixa ou nula. A ribeira de Quarteira, no seu curso

superior, apresenta troços influentes e efluentes e no seu curso inferior é influente (Almeida *et al.*, 2000).

*- Exploração do sistema aquífero*

O sistema aquífero de Querença-Silves sustentou os sistemas de abastecimento público urbano de água dos concelhos de Lagoa, Silves, Albufeira e Loulé, juntamente com outros sistemas aquíferos mais a Sul, durante a segunda metade do Século XX. Nos últimos anos do Século XX, iniciou-se a substituição destes sistemas de abastecimento público urbano de água com escala municipal pelo grande sistema de abastecimento público regional baseado na exploração das barragens de Odeleite, Odelouca, Funcho, Arade e Bravura. Esta solução, baseada na substituição de um conjunto de sistemas de abastecimento de origem única (subterrânea), por um sistema regional, também de origem única (neste caso superficial), acabou por revelar-se inadequado, dadas as condições hidrológicas prevaletentes que, como se sabe, se caracteriza por uma acentada variabilidade temporal da precipitação.

A partir de Outubro de 2004, a extracção de cerca de 500 l/s em furos implantados no sistema aquífero de Querença-Silves, na área de Vale da Vila, para conduzir água à ETA de Alcantarilha. Esta situação verificou-se quando o nível de água nas barragens inviabilizou a continuação do seu uso para abastecimento público, durante a seca severa que afectou Portugal em 2004 e 2005. A partir de Janeiro de 2005, também no sistema aquífero de Querença-Silves, foram reactivados furos em Albufeira, Silves e Lagos e construídas novas captações (Monteiro, 2006)

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados da pesquisa para a Bacia Hidrográfica da Ribeira de Quarteira, a partir de agora denominada de BH ou BHRQ. Para facilitar será dividido em duas partes. Numa primeira parte são apresentados os mapas relativos a cada fator dos índices DRASTIC e IS e só depois exibidos os mapas de vulnerabilidade finais. A segunda parte corresponde à análise qualitativa e quantitativa da área em estudo, recorrendo a gráficos com níveis de cloretos, nitratos e piezométricos, bem como a mapas de ocupação e uso do solo.

### 6.1 Aplicação do DRASTIC e do IS

Para se analisar a evolução do estado de vulnerabilidade da BHRQ fez-se validar os índices DRASTIC e IS para dois períodos distintos tendo o cuidado de ter em conta a quantidade e a qualidade dos dados. O primeiro período será relativo aos anos 90 (anos de 1985-1995) e o segundo período será de 2003 a finais de 2012. Optou-se por se analisar um período de 10 anos para que os mapas finais sejam os mais abrangíveis possíveis.

O método DRASTIC considera que as seguintes condições aumentam o potencial de poluição:

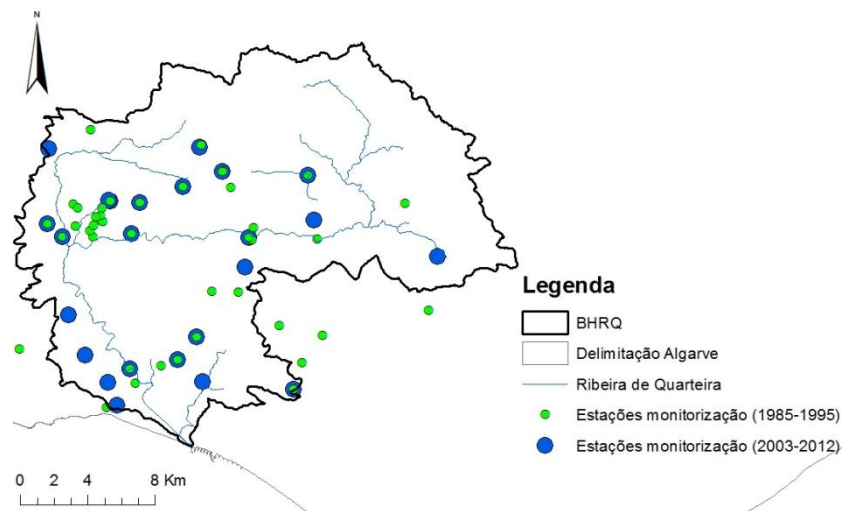
1. Baixa profundidade do topo do aquífero, uma vez que quanto menor for o tempo que o contaminante leva a atingir a zona não saturada menor é a possibilidade para atenuação;
2. Elevada recarga do aquífero, que é o principal meio de lixiviação dos contaminantes para o aquífero;
3. Material do aquífero permeável, não apresentando reatividade com o contaminante acabando por permitir a rápida difusão pelo aquífero;
4. Tipo de solos pobres em argila e matéria orgânica, aumentando a mobilidade dos contaminantes e diminuindo a capacidade de atenuação;
5. Declives baixos ou planos, que dificultam o escoamento superficial, facilitando assim a infiltração;

6. Zona vadosa (não saturada) permeável, facilitando a infiltração e a rápida difusão do contaminante no aquífero,
7. Condutividade hidráulica elevada, permitindo uma rápida dispersão pelo aquífero, assumindo que o contaminante tem a mesma mobilidade da água.

### 6.1.1 Determinação da Profundidade da Toalha freática (D)

A caracterização da profundidade da toalha freática ou do topo do aquífero, consegue-se através da determinação da profundidade do nível freático, medida preferencialmente em poços, de forma a se ter uma maior certeza acerca da posição da superfície freática.

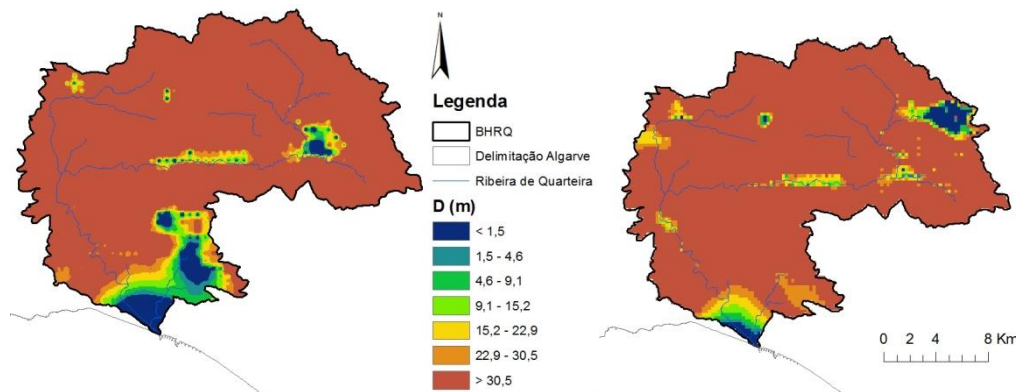
É importante referir a existência de algumas zonas onde não foi possível recolher informação, o que pode dever-se em parte à inexistência de habitações ou de outro uso que não requeira regadio ou água para animais. A distribuição espacial dos poços monitorados pode ser visualizada na Figura 6.1.



**Figura 6.1** Distribuição espacial dos poços monitorizados para a obtenção do parâmetro D (período 1985-1995 e período 2003-2012).

Destes pontos de monitorização foram seleccionados os pontos com maior número de dados referentes ao período em análise (ANEXO I) e foi criado um mapa de contornos piezométricos acima do nível médio do mar ao qual foi subtraído o mapa topográfico. Para o mapa piezométrico foram usados os valores médios, a fim de minimizar o erro, tendo em conta de que se trata de um período de análise longo, 10 anos. A diferença obtida entre os dois mapas, a profundidade ao topo do aquífero, foi

reclassificada de acordo com o DRASTIC e o IS e os mapas produzidos foram os seguintes:



**Figura 6.2** Parâmetro D para os períodos de 1985-1995 (à esquerda) e 2003-2012 (à direita).

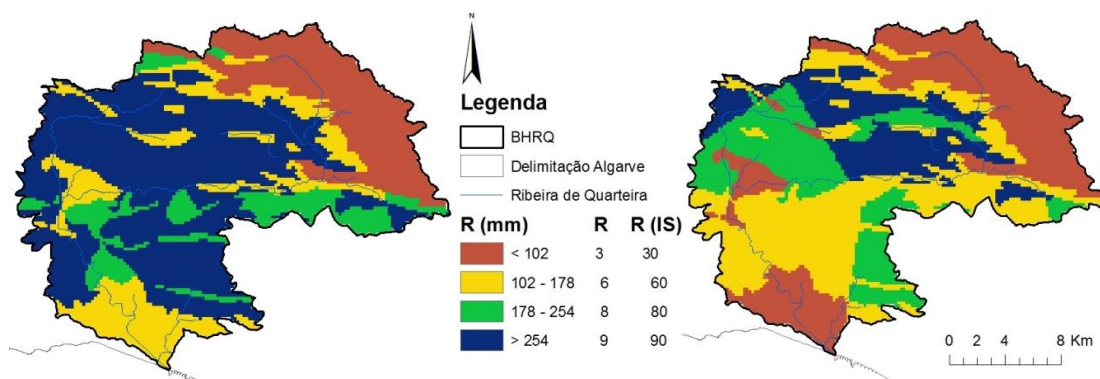
É possível verificar pela cor vermelha-acastanhada que a água subterrânea encontra-se presente em grande parte da BHRQ a profundidades abaixo dos 30,5 m, excepto junto ao Litoral e em áreas dispersas na Serra e no Barrocal.

Comparativamente aos dois períodos e de uma maneira geral, é notório que no período mais antigo a BHRQ encontra-se mais vulnerável à contaminação, uma vez que apresenta maior percentagem de área nas classes com menor profundidade (azul, verde e amarelo). Em caso de existência de um possível contaminante, este atingirá mais rapidamente o aquífero na situação mais antiga pois existe uma maior proximidade entre o lençol freático e a superfície, não havendo tempo para atenuação. É junto ao Litoral que a profundidade ao topo do aquífero é menor, sendo por esta razão a área mais vulnerável a uma possível contaminação.

De evidenciar, que no período mais recente verificou-se uma descida no nível freático junto ao Litoral, uma vez que, de um período para o outro houve um decréscimo da utilização da água subterrânea, graças à introdução do sistema multimunicipal de águas. Esta descida poder-se-á justificar devido ao aumento do número de campos de golfe, sendo que esta atividade é responsável pelo grande consumo de água subterrânea no Algarve, tendo em conta de que são culturas irrigadas de grandes dimensões. Contudo, é de referir que os níveis de recarga foram menores no período mais recente, contribuindo assim também para a diminuição do nível freático.

### 6.1.2. Determinação da Recarga (R)

A recarga consiste na quantidade de água total que é aplicada à superfície do solo por precipitação e que se infiltra chegando ao aquífero (Aller *et al.*, 1987). Os mesmos autores consideram que as fontes de recarga artificial, como a irrigação e aplicação de águas residuais devem ser tidos em conta, uma vez que estas fontes de recarga podem influenciar significativamente a quantidade de água disponível para transportar um poluente no aquífero. Os valores relativos à precipitação média anual (mm) para o cálculo da recarga, encontram-se tabelados no ANEXO II.



**Figura 6.3.** Parâmetro R para os períodos de 1985-1995 (à esquerda) e 2003-2012 (à direita).

Segundo Aller *et al.*, (1987), a recarga é o principal veículo para a lixiviação dos contaminantes para o aquífero. Assim quanto maior for a recarga de uma determinada área, mais vulnerável poderá ser o sistema.

Partindo dessa premissa, é no período mais antigo que a BHRQ se encontra mais vulnerável, visto que, cada uma das três unidades (Litoral, Barrocal e Serra) apresenta valores mais elevados de recarga quando comparado com o período mais recente.

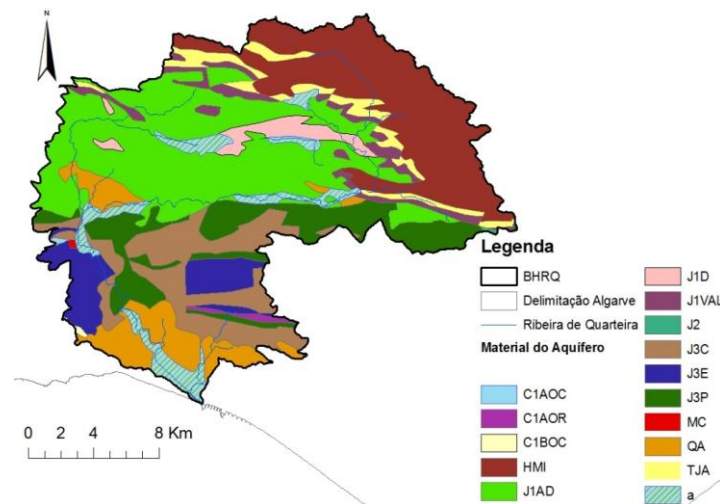
Uma vez que o parâmetro R foi calculado com base nos valores médios de precipitação para cada período, estes registaram valores médios mais elevados no período 1985-1995, produzindo assim valores de recarga mais elevados.

É importante ainda salientar que para os dois períodos, os valores mais elevados registam-se no Barrocal, valores estes justificados pela influência do material litológico, calcários dolomíticos e dolomitos do Jurássico inferior que proporcionam a infiltração e a lixiviação das águas e dos contaminantes.

### 6.1.3. Determinação do Material do Aquífero (A) e Condutividade Hidráulica (C)

O parâmetro A e C são discutidos em conjunto uma vez que o material do aquífero condiciona a condutividade hidráulica no aquífero. Para a obtenção do mapa do parâmetro A é atribuído um valor para cada classe litológica, de acordo com o DRASTIC e IS, sendo que os valores mais elevados correspondem ao tipo de material que mais facilita a contaminação do aquífero. No ANEXO III, encontra-se uma breve descrição das formações geológicas baseadas na Carta Geológica.

Como se pode observar na Figura 6.4, a maior percentagem de área ocupada corresponde às formações HMI e J1AD, xistos e calcários arenosos.



**Figura 6.4** Mapa do material do aquífero (adaptado da Carta Geológica).

A zona superior da Bacia, relativa à Serra é praticamente ocupada pela formação HMI (calcário maciço) enquanto o Litoral é ocupado por areias e balastro sendo atribuído o valor 4 como se verifica no Quadro 6.1.

**Quadro 6.1** Formações litológicas da BHRQ e respectivas condutividades segundo DRASTIC e IS.

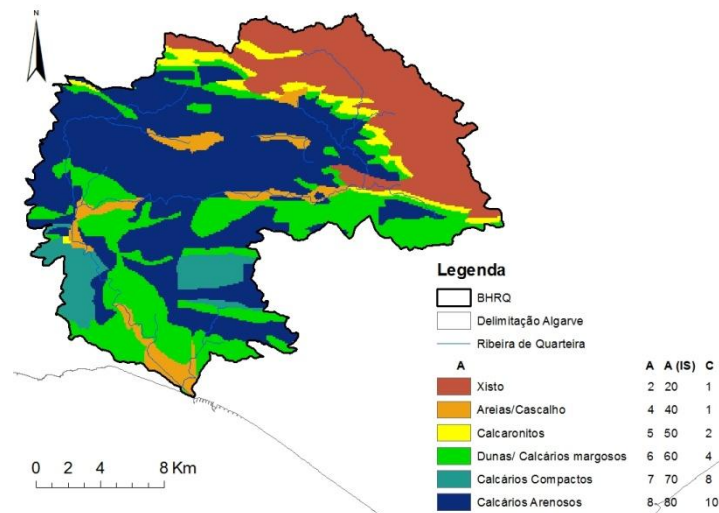
Formação	A	A (IS)	C	C (IS)
a	4	40	1	10
QA	6	60	4	40
MC	5	50	2	20
C1BOC	6	60	4	40
C1AOC	6	60	4	40
C1AOR	6	60	4	40
J3E	7	70	8	80
J3C	8	80	10	100
J3P	6	60	6	60
J2	6	60	6	60
J1AD	8	80	10	100
J1D	8	80	10	100
J1VAL	6	60	4	40
TJA	5	50	4	40
HMI	2	20	1	10

O calcário é o tipo de material que obtém maior pontuação devido às elevadas fraturas e cavidades interligadas, causadas pela dissolução calcária. Este facto faz com que aquíferos com esta composição, sejam extremamente permeáveis, não promovendo a sua atenuação, devido a reações químicas e de adsorção do contaminante na matriz, aumentando assim o potencial de contaminação. Por sua vez, estas condições favorecem a diluição do contaminante, diminuindo assim a sua concentração.

A Serra apresenta algumas formações de rocha metamórfica, e segundo o DRASTIC recebe o valor mais baixo (2), uma vez que a baixa permeabilidade resulta num longo tempo de reação e elevada capacidade de atenuação.

Uma vez que os parâmetros A e C estão relacionados, o valor do parâmetro C é calculado de acordo com o material do aquífero, Tabela 6.3. Verifica-se que os valores máximos tanto de A como de C correspondem aos calcários, enquanto que a rocha metamórfica faz com que o aquífero seja pobre, apresentando uma condutividade hidráulica abaixo dos 4 m/d.

Analisando a Figura 6.5 consegue-se identificar que praticamente toda a área da Bacia Hidrográfica possui valores máximos de condutividade hidráulica, existindo algumas frações zona da Serra com valores mínimo (1) e médio (2), sendo que a parte do Litoral obtém o valor (2). Posto isto, a área com maior valor de C apresenta uma maior fragilidade quanto à contaminação das suas águas, uma vez que facilita a percolação dos contaminantes.



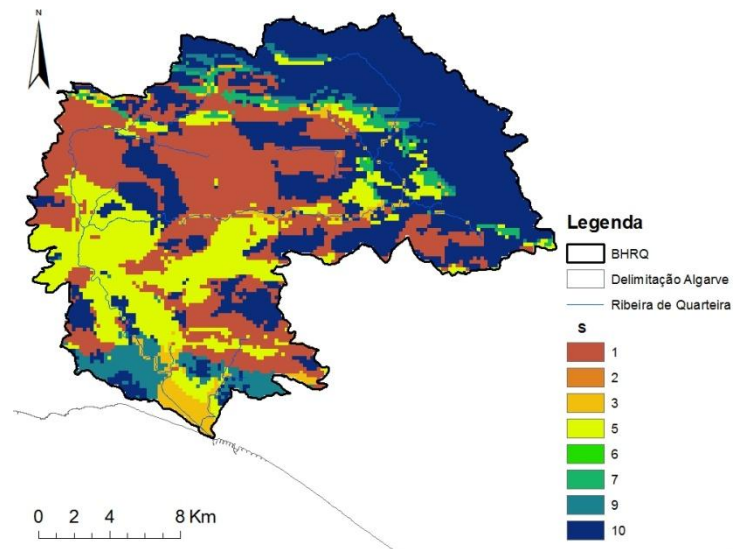
**Figura 6.5** Pontuação do material do aquífero (A) e condutividade hidráulica (C).

#### 6.1.4 Determinação do Tipo de Solo (S)

Este parâmetro tem por base a Carta de Solos à escala de 1:25000. É importante salientar que o mapa deste parâmetro poderá não ser completamente representativo, uma vez que grande parte do solo é para uso agrícola e este sofre modificações na preparação do solo, como por exemplo, os horizontes são misturados, ou até mesmo destruídos.

Na Serra predomina os solos Ex, Leptosolos Eutrícos. Estes solos que são pouco espessos e pedregosos são constituídos por xistos e grauvaques, são solos muito permeáveis e assumem a pontuação 10, Figura 6.6.

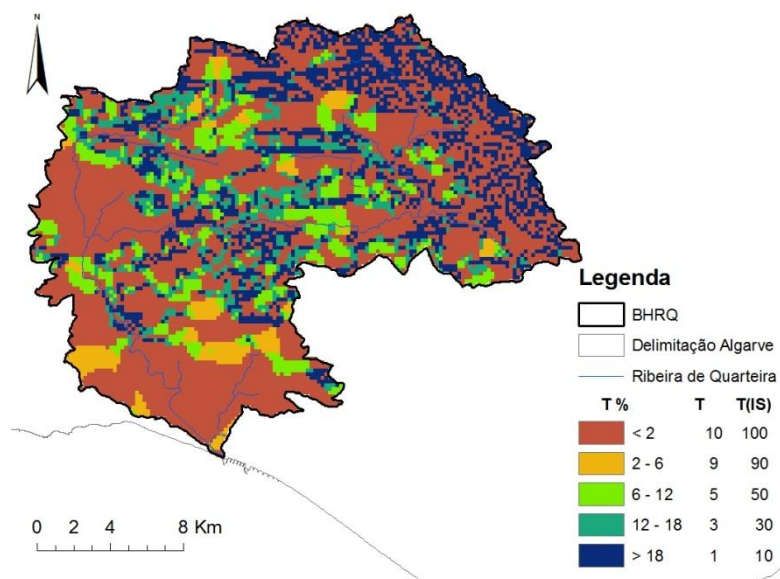
No Barrocal os solos predominantes são o Vcd (pontuação 1) e o Vc (pontuação 5). O Vcd são solos mediterrâneos vermelhos e amarelos de calcário duro e dolomites, geralmente isentos de calcários, resultaram dos calcários compactos e frequentemente dolomitizados do Jurássico e do Cretácico. Apresentam teores de argila na camada superficial do solo à volta dos 50%, sendo integrados na classe dos solos argilosos. Já os solos Vc são solos calcários vermelhos de calcários friáveis, resultaram de calcários brandos, margas e crostas calcárias do Jurássico, Cretácico e do Terciário.



**Figura 6.6** Mapa de pontuação do tipo de solo (adaptado do mapa de Solos).

O Litoral é ocupado maioritariamente por solos Vt (Solos litólicos), Rg (Regossolos) e Aac (Aluviossolos). Os solos Vt são ligeiramente húmicos de arenitos e isentos de calcários e estão associados aos regossolos (Rg), estes últimos muito permeáveis assumindo assim o valor máximo. Os solos Aac são solos jovens com calcário que sofrem influência de águas subterrâneas. O horizonte A deste solo argiloso é poroso e com permeabilidade grande mas os horizontes seguintes possuem porosidade muito baixa, sendo que o horizonte C é praticamente impermeável.

### 6.1.5 Determinação do Declive (T)

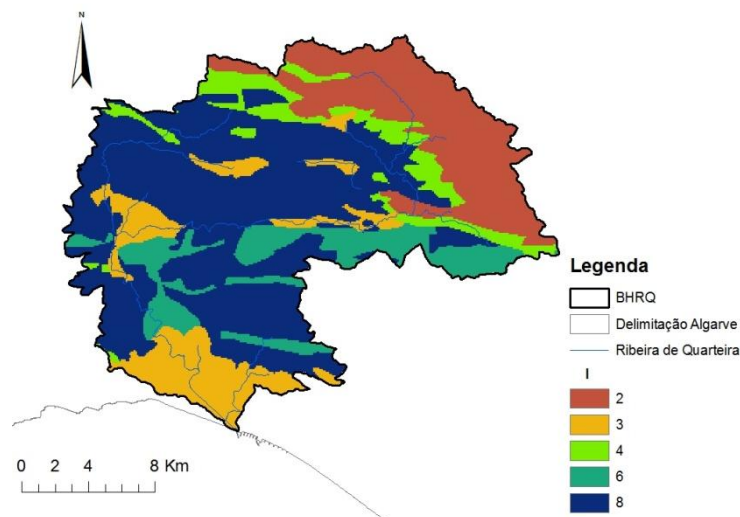


**Figura 6.7** Classes e pontuação do declive de acordo com o DRASTIC e o IS.

Verifica-se que grande parte da área de estudo apresenta uma declividade baixa, inferior a 2%, aumentando a vulnerabilidade à contaminação, favorecendo assim a infiltração do contaminante para o aquífero. Relativamente às zonas agrícolas, embora grande parte se encontrem em zonas de maior declive (zona central da BH), existe uma % de área agrícola considerável perto do Litoral com declives inferiores a 2%. De salientar que o declive é superior na Serra (>18%) diminuindo à medida que se caminha para o Litoral, favorecendo assim a escorrência para este local.

### 6.1.6 Determinação da Influência da Zona Vadosa (I)

O mapa do parâmetro I, influência da zona não saturada ou vadosa, revela-nos que o material do Barrocal e da Serra (a Norte da BH) contribuem em maior parte para a vulnerabilidade da BH, Figura 6.8.



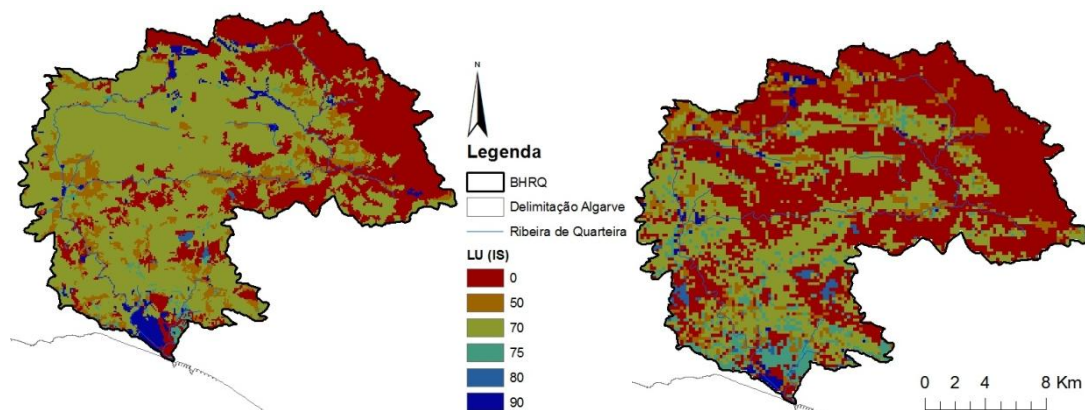
**Figura 6.8** Classificação da influência da zona vadosa de acordo com o DRASTIC.

Este parâmetro tem um elevado peso no cálculo do mapa final DRASTIC, estando a par com o parâmetro D, profundidade ao topo do aquífero. De referir que o material que constitui a zona não saturada do Litoral possui classificação 3 devido ao teor de argila dos solos, embora existam partes adjacentes com classificação máxima (8). A zona Oeste da BH é ocupada por zonas agrícolas, zona esta classificada por 4 e 6 segundo o modelo DRASTIC.

### 6.1.7 Determinação do Uso do Solo (LU)

Com recurso às cartas de ocupação do solo COS 90 e COS 2007 reclassificaram-se cada uma das classes e obtiveram-se os seguintes mapas da Figura 6.9.

Na década de 80 existia maior percentagem de área classificada pela classe 70 que corresponde às culturas permanentes (vinhas, pomares e olivais), contudo apesar de ser no Litoral que estão situadas as classes que mais influenciam e contribuem para a vulnerabilidade do sistema, do mapa mais antigo para o mais recente, houve uma diminuição da classe que mais contribui para a vulnerabilidade do sistema, classe 90 que corresponde a atividades como: culturas temporárias de arrozais, culturas de sequeiro e de regadio.



**Figura 6.9** Classificação Uso do Solo período 1985-1995 (à esquerda) e 2003-2012 (à direita) de acordo com o IS.

## 6.2 Mapas DRASTIC

Após a determinação de cada um dos parâmetros em formato *raster*, procedeu-se à soma ponderada de cada um dos parâmetros para se obter o mapa final DRASTIC, com recurso à ferramenta *raster calculator* do *Spatial Analyst*.

**Tabela 6.1** Valor dos parâmetros para os mapas DRASTIC.**DRASTIC**

5 x D

4 x R

3 x A

2 x S

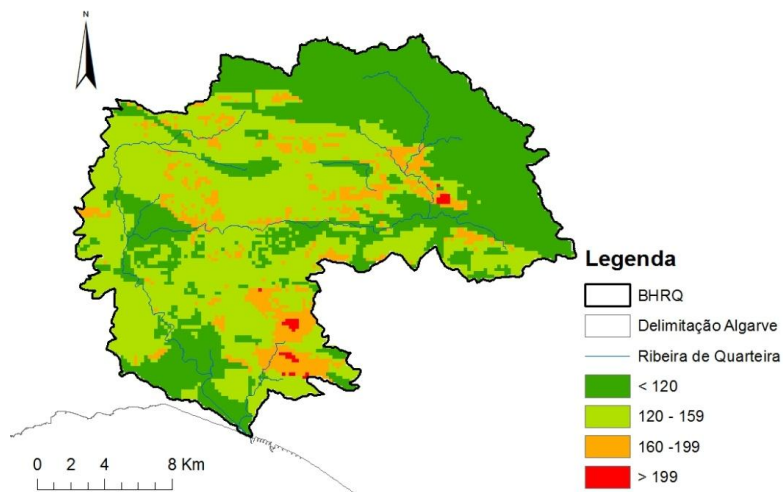
1 x T

5 x I

3 x C

Como é possível verificar na Tabela 6.1, Aller *et al.*, (1987), considera que os parâmetros D, I e R, nomeadamente a profundidade ao topo do aquífero, influência da zona não saturada e a recarga, são os parâmetros que mais contribuem para a vulnerabilidade do sistema, em que o mapa final é dividido em 4 classes: baixa (< 120), intermédia (120-159), elevada (160-199) e muito elevada (> 199):

D- 22%; R- 17%; A- 13%; S- 9%; T -4%; I -22%; C -13%.

**Figura 6.10** Mapa do DRASTIC para a BHRQ período 1985-1995.

Analisando o mapa DRASTIC acima descrito, é possível constatar que grande parte da BHRQ se encontra inserida nas classes <120 e 120-159, vulnerabilidade baixa e intermédia respetivamente.

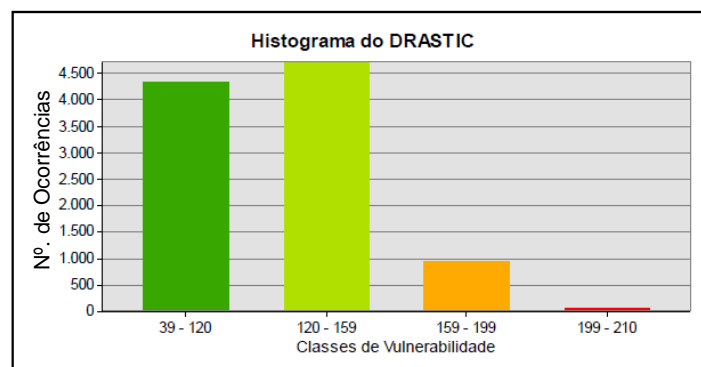
Na Serra existem algumas zonas classificadas com vulnerabilidade elevada (cor de laranja), que podem ser justificadas pelo tipo de material da zona vadosa, sendo este um

dos fatores com maior ponderação no cálculo do modelo. Embora o fator D, profundidade ao topo do aquífero, tenha o mesmo peso que o fator I, na Serra a profundidade é superior a 30 m o que faz com que este parâmetro não seja justifique a alta vulnerabilidade nesta área. De salientar que, os solos correspondentes a estas áreas são Cambissolos calcários crômicos fragmentados do Jurássico e Miocénico que são relativamente permeáveis.

Segundo o DRASTIC o Litoral é classificado com vulnerabilidade baixa. Apesar de a profundidade ao topo do aquífero ser relativamente baixa, o fator I que obtém o mesmo peso que D, classifica esta área com índices baixos devido ao teor de argila dos solos (calcários margosos), que faz com que os eventuais contaminantes sejam adsorvidos, retardando assim a chegada dos contaminantes às águas subterrâneas.

Relativamente ao Barrocal, esta é a área que se encontra mais vulnerável do que em relação à Serra ou ao Barrocal, apresentando pequenas áreas com vulnerabilidade muito elevada. Para além de os valores da profundidade ao topo do aquífero (D) serem mais baixos nesta área, sendo mais fácil o contaminante atingir as águas do aquífero. A recarga (R) nesta área assume valores elevados (250 mm) aumentando assim o poder da infiltração. Quanto aos solos, Leptossolos Eutricos, são muito permeáveis, com elevados valores de condutividade hidráulica, favorecendo também a infiltração.

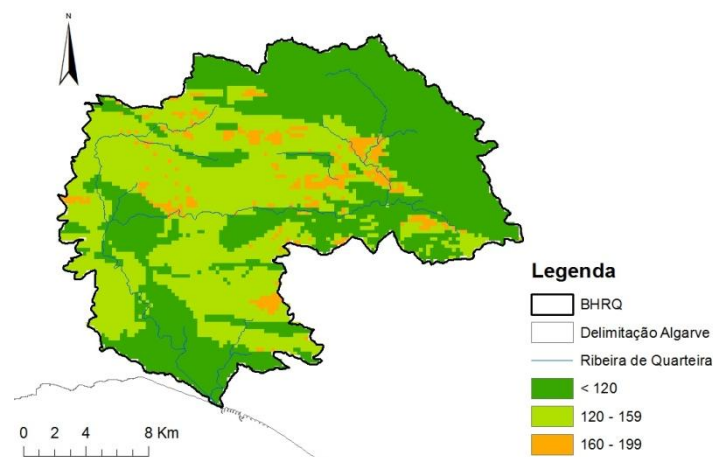
O histograma surge apenas para se perceber qual a ocupação de cada classe ao longo de toda a Bacia Hidrográfica.



**Figura 6.11** Histograma do mapa de vulnerabilidade DRASTIC para a BHRQ período 1985-1995.

É então possível constatar, na Figura 6.11, que as classes de vulnerabilidade intermédia e baixa encontram-se praticamente equiparadas. As classes elevada e muito elevada ocupam áreas reduzidas como se comprova no mapa final DRASTIC.

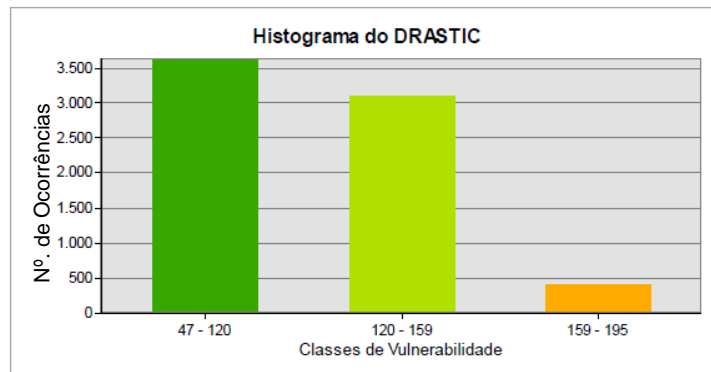
Relativamente ao DRASTIC para o período 2003-2012, Figura 6.12, de uma forma geral, a BHRQ encontra-se menos vulnerável do que no período anterior, tendo desaparecido a classe vulnerabilidade muito elevada. Este facto pode dever-se devido a dois fatores, nomeadamente à recarga e às profundidades do nível freático. Como já foi dito anteriormente, foi registado um decréscimo nos níveis de recarga relativos ao período 2003-2012 (Figura 6.3), devido à diminuição da precipitação para este período, o que por sua vez faz diminuir os níveis piezométricos, contudo neste caso, a diminuição dos níveis é associada à irrigação dos campos de golfe uma vez que houve um crescimento do número de campos inseridos dentro da BH.



**Figura 6.12** Mapa de vulnerabilidade DRASTIC (2003-2012) para a BHRQ.

Grande parte da área da Serra encontra-se com vulnerabilidade intermédia. Isto pode dever-se devido aos valores de D e R. Os parâmetros têm pesos significativos no cálculo do modelo DRASTIC, sendo de 22% e 17% respetivamente. Analisando os mapas destes dois parâmetros, e comparando com os mapas do período anterior (1985-1995), é evidente o aumento das profundidades ao topo do aquífero e a diminuição da recarga, nomeadamente nas áreas do Litoral e Barrocal. Esta alteração converte-se na diminuição da vulnerabilidade do sistema em estudo, uma vez que a recarga promove a infiltração e uma maior profundidade D, promove a contaminação do aquífero em menos tempo, caso haja contaminante, e logo menor tempo de atenuação por parte do sistema.

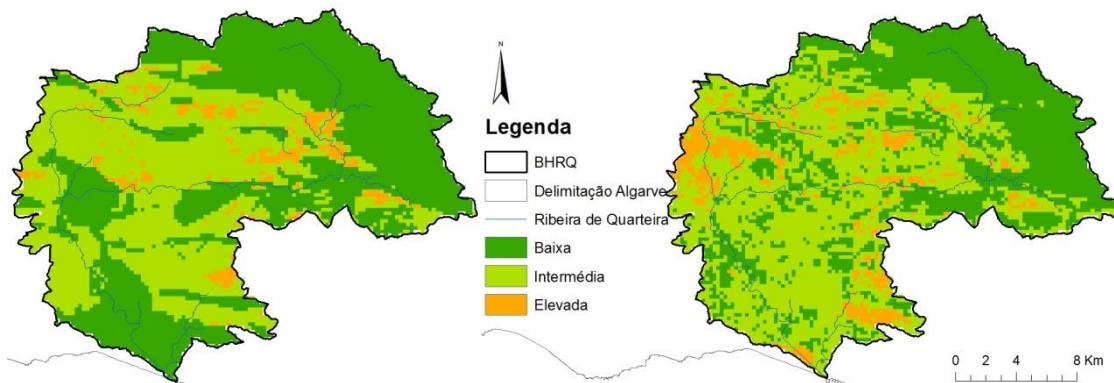
Segundo a Figura 6.13, as classes de vulnerabilidade baixa e intermédia ocupam praticamente a mesma percentagem de área, sendo que a classe baixa ocupa um pouco mais.



**Figura 6.13** Histograma das classes do mapa de vulnerabilidade DRASTIC para a BHRQ período 2003-2012.

Todavia, a primeira classe não revela preocupação, enquanto a classe de vulnerabilidade intermédia revela-nos as zonas mais vulneráveis à contaminação. Comparativamente ao histograma do DRASTIC do período 1985-1995, houve um decréscimo em todas as classes.

Como é possível verificar através da comparação dos dois mapas finais para o período 2003-2012 (Figura 6.14), a zona da Serra, a norte da BH, encontra-se classificada por ambos os mapas com vulnerabilidade baixa.



**Figura 6.14** Mapa final DRASTIC (à esquerda) e mapa final IS (à direita) relativo ao período 2003-2012.

As maiores diferenças são relativas ao Litoral, em que no mapa IS é considerado tendo vulnerabilidade intermédia a elevada, enquanto no modelo DRASTIC é-lhe atribuída vulnerabilidade baixa. Na zona oeste da BH também se verificaram diferenças na atribuição do grau de vulnerabilidade desta zona, sendo estas diferenças atribuídas na grande parte à inclusão do parâmetro de uso e ocupação do solo.

### 6.3 Mapas IS

O mesmo procedimento é efetuado para a determinação do mapa final IS. Assim, após a determinação de cada um dos parâmetros em formato *raster*, procedeu-se à soma ponderada de cada um dos parâmetros para se obter o mapa final IS com recurso à ferramenta *raster calculator* do *Spatial Analyst*.

**Tabela 6.2** Valores dos parâmetros para o mapa IS.

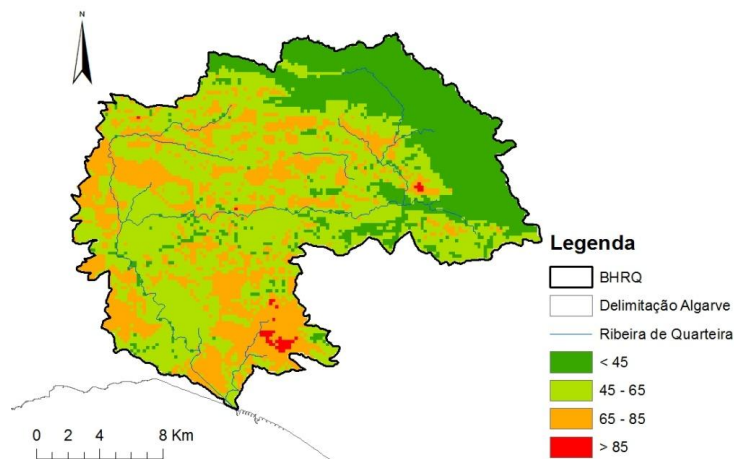
<b>IS</b>
0,186 x D
0,212 x R
0,259 x A
0,121 x T
0,222 x LU

O índice de vulnerabilidade IS é uma adaptação do índice DRASTIC e surge na necessidade de incluir o parâmetro LU (ocupação do solo) que define as atividades exercidas no terreno, que constituem as potenciais fontes de contaminação dos aquíferos. Os parâmetros D, R, A, T são extraídos diretamente do DRASTIC. Os pesos de cada parâmetro também são alterados, sendo que os parâmetros A e LU são os que mais peso têm.

Em que: D -19%; R -21%; A -26%; T -12%; LU -22%

Antes de se discutir a distribuição espacial das classes do IS, julga-se oportuno clarificar as principais diferenças entre o IS e o DRASTIC. Os parâmetros com maior valor de ponderação no DRASTIC são o D, R com 22% e 17% respetivamente, enquanto que no IS estes dois parâmetros têm um peso de 19% e 21%. Comparativamente, o tipo de aquífero (A) tem o dobro do peso no IS (26%), contudo a condutividade hidráulica não sendo considerada no IS, segundo a fórmula final do DRASTIC tem um peso igual ao parâmetro A de 13%. O declive embora seja um parâmetro comum nos dois índices, apresenta maior importância no IS (12%) do que no DRASTIC (4%). Finalmente, o tipo de solo (S) e a influência da zona vadosa foram excluídos do IS (9% e 22%) que incluiu o parâmetro Uso do Solo com 22%. Concluindo, a importância dos parâmetros hidrogeológicos é inferior no IS.

O Índice de Susceptibilidade tem em conta a ocupação e uso do solo, e é fundamental para a sua interpretação ter em consideração o mapa do uso do solo, Figura 6.9. Assim, sobrepondo o mapa do uso do solo de 1990 ao mapa final IS (Figura 6.15), observa-se que as zonas de maior vulnerabilidade relativamente ao Litoral estão associadas a zonas de prática de agricultura, cultivo de pomares e culturas anuais de regadio.

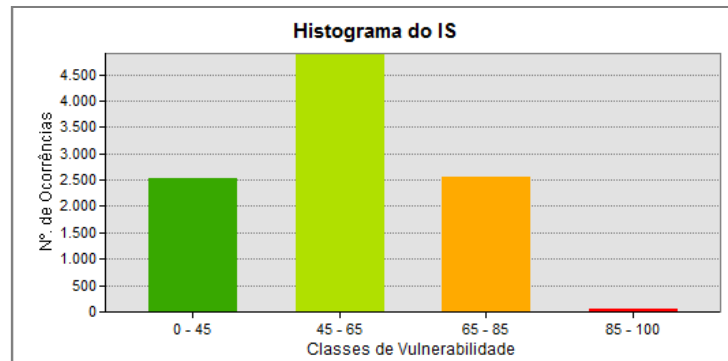


**Figura 6.15** Mapa do IS para a BHRQ período 1985-1995.

O Litoral obteve uma classificação elevada devido às inúmeras pressões a que está sujeito, como o tecido urbano, contudo os focos de maior vulnerabilidade encontram-se um pouco mais a norte, e encontram-se em zonas de pedreiras, aterros sanitários, culturas de pomares, culturas anuais de sequeiro, de regadio e zonas com vegetação esclerofítica.

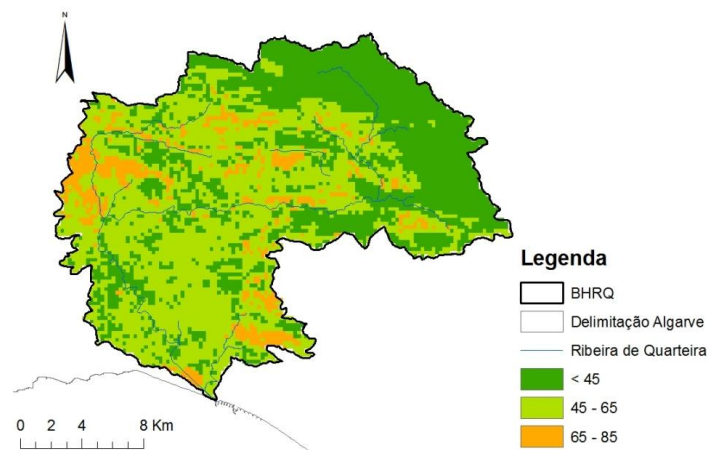
A Serra possui zonas classificadas com vulnerabilidade intermédia e alta. Analisando a ocupação do solo nessa zona, comprova-se que os usos como os pomares e como as culturas anuais associadas a culturas permanentes contribuem muito para o aumento da vulnerabilidade. Isto deve-se tanto às técnicas de rega como ao uso de pesticidas e fertilizantes por parte dos agricultores.

Mais uma vez, efetuou-se um histograma (Figura 6.16) para o mapa IS final, a fim de verificar quais as classes mais representativas. Neste sentido, pode-se verificar que a classe que mais ocupa a BH é a classe de vulnerabilidade intermédia, sendo que as classes baixa e alta encontram-se equiparadas.



**Figura 6.16** Histograma do mapa de vulnerabilidade IS para a BHRQ período 1985-1995.

O mapa final IS para o período mais recente (2003-2012) abaixo, revela algumas distinções, quando comparado com o mapa final IS.



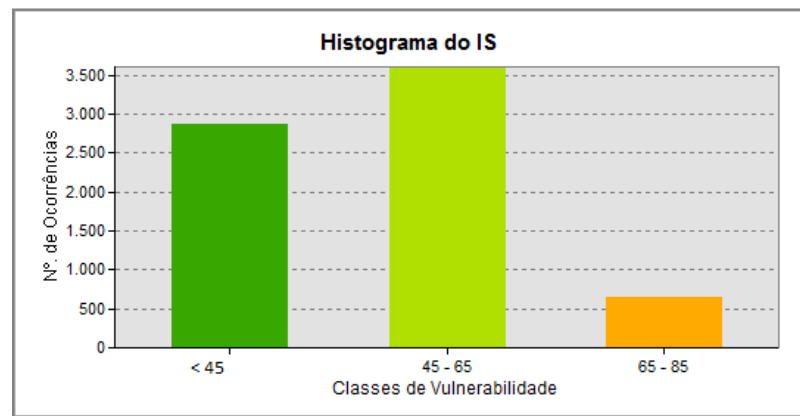
**Figura 6.17** Mapa de vulnerabilidade IS 2003-2012 para a BHRQ.

Comparativamente, no mapa IS obteve-se maior número de áreas de vulnerabilidade intermédia assim como a classe de vulnerabilidade alta na zona do Barrocal e Litoral. Este facto é justificado pelas atividades que se praticam nesta área, tais como áreas de extração de inertes, áreas de deposição de resíduos e culturas permanentes. Estas atividades possuem pontuações elevadas, o que vem reforçar a seu impacte na Bacia Hidrográfica.

Como seria expectável o Litoral, devido à presença de campos de golfe, tecido urbano, indústrias, culturas temporárias e pastagens permanentes, insere-se na classe de vulnerabilidade intermédia tendo algumas áreas que correspondem à classe alta. A sudeste da BH, as áreas amarelas situam-se sob zonas de culturas permanentes como olivais, pomares e vinhas, e também a campos de golfe, irrigados a grande maioria com águas subterrâneas, atividades estas altamente contribuidoras para a vulnerabilidade do

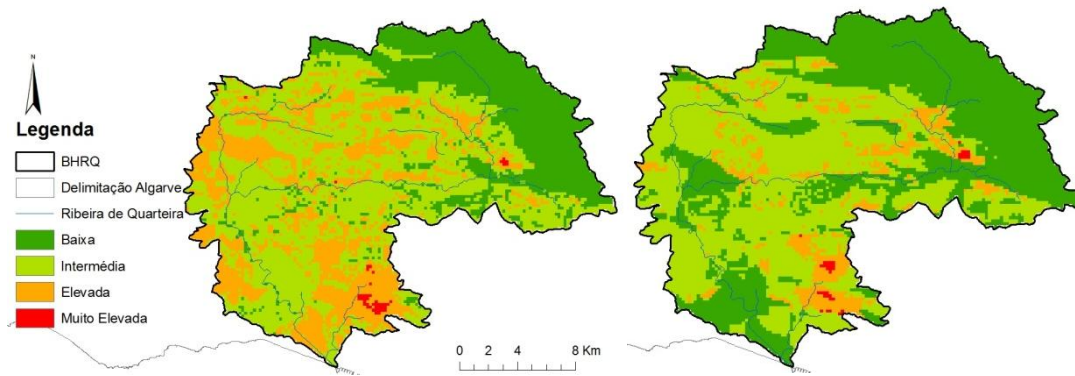
sistema. De referir, que de uma forma geral, na zona da Serra e Barrocal apareceram zonas com vulnerabilidade alta, evidenciando a ideia de que o parâmetro uso do solo vem reforçar a certeza de que as atividades que se praticam influenciam de forma positiva ou negativa as áreas onde são praticadas assim como as áreas adjacentes.

O histograma (Figura 8.18) vem confirmar o aparecimento das classes alta e muito alta, embora não apresente uma área elevada. As classes baixa e intermédia são as classes que maior percentagem de área ocupam estando dispersas ao longo de toda a Bacia Hidrográfica. Comparando os histogramas do DRASTIC e do IS para o período 2003-2012, existe um aumento considerável das classes de vulnerabilidade elevada e vulnerabilidade alta, uma vez que o segundo abandona o carácter intrínseco do primeiro.



**Figura 6.18** Histograma das classes do mapa de vulnerabilidade IS 2003-2012.

Como é possível verificar pela Figura 6.19, comparando o DRASTIC e o IS para o mesmo período (1985-1995), houve um decréscimo da classe vulnerabilidade baixa, por sua vez, as classes intermédia e alta aumentaram ao longo da BH. Este facto poder-se-á dever a dois fatores: ao aumento da ponderação dos parâmetros R, A e T no IS e à inclusão do parâmetro uso do solo, que vai dar importância às atividades que decorrem à superfície, atribuindo-lhes um peso no aumento ou na diminuição, neste caso aumento da vulnerabilidade do sistema.

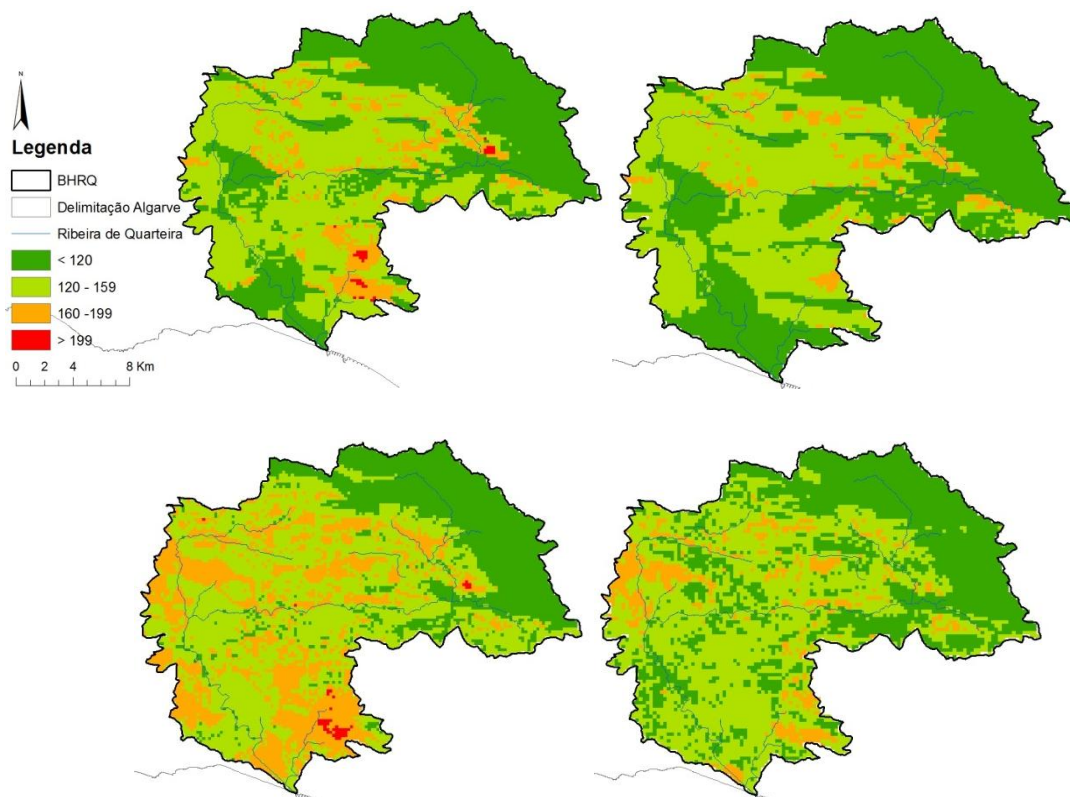


**Figura 6.19** Mapa final DRASTIC (à esquerda) e mapa final IS (à direita) relativo ao período 1985-1995.

Posto isto, no período 1985-1995, o índice de susceptibilidade considera a BH mais vulnerável à contaminação do que o modelo DRASTIC, sendo o Litoral a zona mais vulnerável.

#### 6.4 DRASTIC Versus IS

De forma a melhor se compreender a evolução da vulnerabilidade da BH através do modelo DRASTIC e do índice IS relativos aos dois períodos, juntaram-se os quatro mapas finais obtidos, Figura 6.20.



**Figura 6.20** Mapas de vulnerabilidade finais para a BH. Canto superior esquerdo DRASTIC período 1985-1995, superior direito DRASTIC 2003-2012. Canto inferior esquerdo IS período 1985-1995, inferior direito IS 2003-2012.

Através da comparação dos mapas DRASTIC para cada período, mapas superiores, é possível verificar que houve um decréscimo da vulnerabilidade a jusante da BH, redução da classe 160-199 e um desaparecimento da classe vulnerabilidade muito elevada, a vermelho. Tendo em conta que o modelo é estritamente intrínseco, esta diminuição da vulnerabilidade pode dever-se em parte aos parâmetros D (22%) e R (17%), respetivamente profundidade ao topo do aquífero e recarga. Estes dois parâmetros, evoluíram de forma a que o sistema estivesse mais protegido a possíveis contaminantes. A diminuição da recarga no período mais recente faz com que ocorra menor infiltração e menor lixiviação dos contaminantes, logo o sistema encontra-se menos vulnerável. Relativamente ao parâmetro D, no período mais recente, registou-se descida dos níveis freáticos, fazendo com que haja mais tempo de atenuação em conta de contaminação.

Os mapas inferiores referem-se à aplicação do IS para cada um dos períodos, 1985-1995 e 2003-2012. Através da sua comparação, é possível constatar tal como acontece com o modelo DRASTIC, ocorreu uma diminuição significativa da classe de vulnerabilidade elevada (cor amarela) e o desaparecimento da classe de vulnerabilidade muito elevada (cor vermelha).

O índice de susceptibilidade abandona o conceito intrínseco considerando que as atividades que se praticam no solo têm influência na vulnerabilidade. Posto isto, a diminuição e a extinção das classes elevada e muito elevada devem-se aos três fatores, D, R e LU. Estes parâmetros têm pesos consideráveis: D -19%, R -21% e LU -22%. Como foi dito anteriormente, o parâmetro D e R evoluíram de forma a beneficiar o sistema, tendo a profundidade D aumentado, ou seja, níveis freáticos mais baixos e R diminuído do período mais antigo para o período mais recente. É evidente a relação entre estes dois parâmetros, uma vez que se a recarga diminui, também a infiltração diminui e por conseguinte os níveis freáticos não recuperam, havendo uma diminuição dos mesmos.

Relativamente ao parâmetro LU, este vem evidenciar a importância do uso e ocupação do solo na vulnerabilidade do sistema. Comparativamente, nos dois mapas LU produzidos baseados nas cartas COS 90 e COS 2007, identificou-se uma perda das áreas com maior potencial de contaminação devido ao abandono de certas atividades. Este facto, faz com que o mapa final IS 2003-2012 obtenha uma melhor avaliação quanto à

sua vulnerabilidade, confirmando assim a importância da ocupação do solo na avaliação do sistema em estudo.

Reconhecendo a importância que o parâmetro LU (ocupação do solo) tem na vulnerabilidade das águas subterrâneas julga-se ser interessante e comparar os diferentes mapas de mapas de ocupação e uso do solo, Corine Land Cover, relativos aos anos de 1990, 2000 e 2006, a fim de melhor perceber a evolução das classes de ocupação de cada um dos mapas.

### **6.5 Uso e Ocupação do Solo**

A caracterização da ocupação ou uso do solo serve de base transversal para a análise de diversos aspetos que influem sobre a gestão integrada de recursos hídricos, de onde se destacam a susceptibilidade dos solos à erosão, a modelação do comportamento hidrológico das bacias, a classificação das massas de água, a avaliação das necessidades de água e a aferição das pressões sobre as massas de água.

Esta análise constitui ainda um elemento importante de base na avaliação e resolução de conflitos de uso do solo em zonas identificadas como domínio hídrico, a ter em conta na definição de objetivos e na proposta de medidas para as massas de água. Foram consultados os mapas de ocupação e uso do solo Corine Land Cover de escala 1: 100.000 cedidos pelo IGEO (Instituto Geográfico Português) para determinar a distribuição espacial dos diferentes tipos de solos na área de estudo.

Para uma melhor perceção da evolução do uso dos solos recorreu-se ao mapa mais recente referente ao ano de 2006 assim como ao mapa antecessor relativo ao ano de 1990. Os mapas produzidos encontram-se no ANEXO IV, e para cada um foi calculada a % de ocupação de cada classe. No Quadro 6.2 encontram-se descritas as classes do mapa de ocupação e uso do solo Corine Land Cover.

**Quadro 6.2** Descrição das classes CLC.

<b>Código CLC</b>	<b>Classe</b>
112	Tecido urbano descontínuo
123	Zonas Portuárias
131	Áreas de extração mineira
132	Áreas de deposição de resíduos
133	Áreas em construção
142	Equipamentos desportivos e de lazer
211	Culturas anuais de sequeiro
212	Culturas anuais de regadio
221	Vinhas
222	Pomares
231	Pastagens
241	Culturas anuais associadas às culturas permanentes
242	Sistemas culturais e parcelares complexos
243	Agricultura com espaços naturais
244	Sistemas agro- florestais
311	Florestas de folhosas
312	Florestas de resinosas
313	Florestas mistas
323	Vegetação esclerofítica
324	Espaços florestais degradados, cortes e novas plantações
331	Praias, dunas e areais
523	Mar e oceano

Analisando o Quadro 6.3, é possível verificar que no mapa do ano de 2000 para o ano de 2006 apareceram duas novas classes, 133 e 523, respetivamente áreas em construção e a classe mar e oceano. É evidente a influência do mar e do oceano na hidrodinâmica da bacia, contudo a não existência dessa classe nos mapas anteriores a 2006 tratar-se-á de uma lacuna retificada no mapa mais recente, 2006. Assumindo como 404 km<sup>2</sup> a área total da bacia hidrográfica da ribeira de Quarteira as classes com maior percentagem de ocupação são as classes 222 (15,75%), 241 (23,26%), 311 (12,86%) e 323 (21,76%). Apesar de terem existido algumas reduções de percentagem de ocupação de algumas classes, essas diminuições não foram significativas.

A redução mais acentuada foi da classe 311 (florestas de folhosas) em que houve uma perda de cerca de 1,32%. O mesmo acontece com o aumento da percentagem de ocupação em que a subida mais acentuada foi de 1,08% relativa à classe 324 (espaços florestais degradados, cortes e novas plantações). Comparando os três mapas dos anos 1990, 2000 e de 2006 existem duas classes identificadas a cor de laranja cujos valores aumentaram no ano de 2000 e desceram em 2006. Este facto poder-se-á justificar

devido a um período de seca referente ao ano hidrológico 2004/2005. Rodrigues *et al.*, (2005) referem no seu estudo que os baixos valores de precipitação registados nesse ano hidrológicos originaram situações de rotura em atividades económicas diretamente dependentes da precipitação, como a pecuária e as culturas de pequena dimensão.

**Quadro 6.3** Percentagem de ocupação das classes CLC para os anos 1990, 2000, 2006.

Classes CLC	Ano 1990	Ano 2000	Ano 2006	Variação %	Variação %
	Área %	Área %	Área %	(Ano 2000-1990)	(Ano 2006-2000)
112	0,19	0,3	0,87	0,11	0,57
123	0,00	0,02	0,03	0,02	0,01
131	0,40	0,81	0,87	0,41	0,06
132	---	0,00050	0,07	0,00050	0,06881
133	---	---	0,08	---	0,08
142	0,56	1,38	1,93	0,83	0,55
211	1,09	0,68	0,39	-0,41	-0,29
212	1,26	1,31	1,30	0,05	-0,01
221	0,09	0,37	0,37	0,28	0
222	16,72	16,64	15,75	-0,08	-0,89
231	0,35	0,22	0,22	-0,13	0
241	22,58	22,46	23,26	-0,11	0,80
242	8,46	8,19	8,03	-0,27	-0,16
243	8,09	8,14	8,11	0,05	-0,03
244	0,09	0,09	0,09	0,00	0
311	14,48	14,48	12,86	0,00	-1,62
312	0,33	0,17	0,15	-0,16	-0,02
313	0,60	0,07	0,05	-0,53	-0,02
323	22,56	21,99	21,76	-0,57	-0,23
324	2,15	2,68	3,76	0,53	1,08
331	0,01	0,01	0,03	0,00	0,02
523	---	---	0,01	---	0,01
Total	100,00	100,00	100,00	---	---

Nota: O sinal (-) na coluna variação representa o decréscimo da % de ocupação da respetiva classe CLC.

A referência ao ano de 1990 servirá apenas para identificar se existem algum género de tendências futuras de classes.

## 6.6 Qualidade

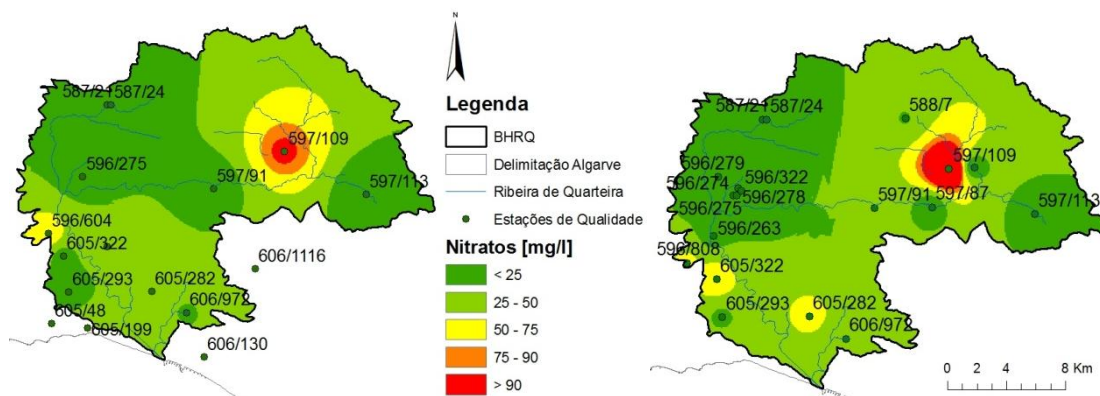
Para efetuar uma avaliação à qualidade das águas subterrâneas das estações inseridas na BHRQ procedeu-se à análise de alguns parâmetros que são indicadores de qualidade, tais como, nitratos, condutividade, e cloretos. Começou-se então pela parametrização dos nitratos (mg/l) para os dois períodos em análise; 1985-1995 e 2003-2012, e por fim analisou-se o último ano de registos, 2012 (ANEXO V).

A fim de analisar a BH no seu estado mais vulnerável, achou-se oportuno produzir mapas de nitratos, em ambiente SIG, com os valores máximos registados para

cada um dos períodos, ou seja, para cada estação de monitorização foi considerada a concentração mais elevada de acordo com os períodos em estudo, de forma a criar o cenário mais vulnerável. De maneira a colmatar a falta de dados em determinadas áreas, foi utilizado o método de interpolação IDW (Inverso do Quadrado da Distância).

Na Figura 6.21 à esquerda encontra-se o mapa da concentração de nitratos para o período 1985-1995 e o mapa relativo ao período 2003-2012 à direita.

No período mais antigo, é possível identificar áreas cujos VMA (Valor Máximo Admitido) são ultrapassados, áreas a amarelo, laranja e vermelho, nas quais se inserem as estações 596/604 e 597/109. De referir, que a estação 597/171 registou uma concentração máxima de nitratos de 53 mg/l, contudo esta estação não se encontra dentro da BH e os dados apenas foram tidos em consideração para a produção do mapa final de nitratos. Para se perceber a origem destes valores relacionou-se então o mapa de nitratos com a carta de ocupação do solo (COS 1990) e com a carta Corine Land Cover (CLC 1990), uma vez que correspondem ao período em questão.



**Figura 6.21** Mapa de concentração de nitratos (mg/l), período 1985-1995 à esquerda e período 2003-2012 à direita.

Através da CLC 1990, verificou-se então, que a estação 596/604, localiza-se em zonas de extração de pedras (pedreiras/cimenteiras) e a sistemas culturais e parcelares complexos, sendo que a primeira atividade é umas principais ameaças à integridade do sistema. Os impactos negativos que daqui advêm, como a interseção do nível freático, variam de acordo com o tipo de mina e o volume das extrações de água que aí se efetua. Através da COS 90 verificou-se também que a estação 596/604 estava localizada em zonas com mistos de pomares, alfarrobeiras, amendoeiras e figueiras e a zonas de tecido urbano descontínuo.

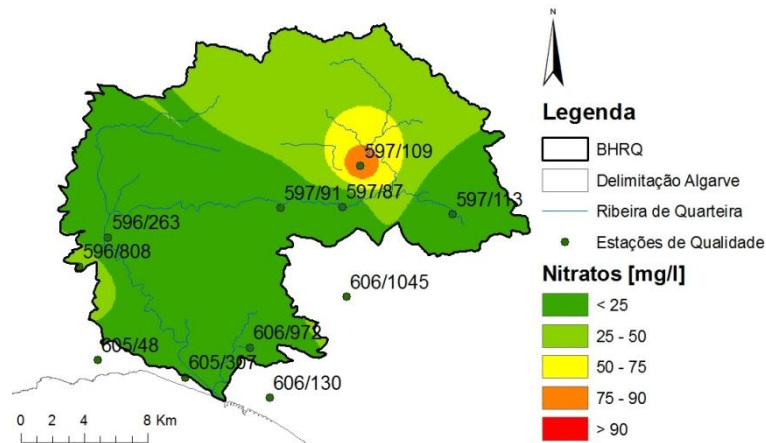
A área vermelha na qual a estação 597/109 se insere, corresponde a culturas anuais de regadio, culturas anuais associadas às culturas permanentes, zonas agrícolas com espaços naturais, pomares, mistos de pomares, olivais e amendoeiras e a zonas de extração mineira. As atividades mencionadas anteriormente possuem as mais elevadas cotações segundo o índice IS, uma vez que são atividades que influenciam a vulnerabilidade do sistema, devido à aplicação de fertilizantes, contribuindo assim para o aumento da concentração de nitratos.

No período mais recente, as estações que apresentam concentrações acima do VMA, ou seja acima dos 50 mg/l, são as estações referentes às estações 596/808, 597/109, 605/282 e 605/322, nomeadamente 57, 200, 64 e 75 mg/l como se pode observar na Tabela VII, ANEXO V. Sobrepondo o mapa de nitratos com a COS 2007 e com a CLC 2006, verifica-se que a estação 596/808 localiza-se em zonas de agricultura com espaços naturais, tecido urbano, culturas permanentes (vinhas, pomares e olivais).

Quanto ao 605/282, este ponto situa-se próximo do Litoral e encontra-se sob área urbana, culturas permanentes (olivais, pomares e vinhas) e sob áreas agrícolas heterogéneas (culturas temporárias de sequeiro/regadio e culturas permanentes). Estas atividades contribuem em grande parte para o aumento dos nitratos.

Finalmente o ponto 605/322 apresenta um valor de nitratos acima do VMA devido à presença de aterros, pedreiras, sucatas e lixeiras, culturas permanentes (que podem ser pomares, vinhas e olivais), áreas agrícolas heterogéneas (culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes, sistemas culturais e parcelares complexos, sistemas agro-florestais que podem ser permanentes ou temporárias de regadio/sequeiro).

Foi também realizado um mapa, relativo às concentrações máximas de nitratos (mg/l) relativamente ao ano mais recente, ano de 2012 para avaliar o estado atual de contaminação, Figura 6.20.



**Figura 6.22** Concentração de nitratos (mg/l) para o ano de 2012 (ANEXO V).

A área amarela e laranja onde a estação 597/109 se insere, corresponde aos seguintes uso do solo: Florestas abertas e vegetação arbustiva e herbácea, zonas descobertas e com pouca vegetação, tecido urbano, culturas permanentes (olivais, pomares e vinhas), áreas agrícolas heterogéneas (culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes, sistemas culturais e parcelares complexos, sistemas agro-florestais que podem ser permanentes ou temporárias de regadio/sequeiro). Comparando o mapa supra descrito com o mapa final do período 2003-2012, é possível verificar uma alteração significativa da dispersão das concentrações de nitratos, isto revela que o período de 10 anos atenua muito a concentração deste ião, podendo estes mapas não serem muito representativos.

No ANEXO VI encontra-se o levantamento dos valores da condutividade em uS/cm para as estações localizadas dentro da BHRQ. Por falta de dados apenas foi possível recolher informação relativa ao ano de 2003 e 2004 facultado pelo SNIRH. Este parâmetro tem alguma importância pois revela a mineralização da água uma vez que consiste na medição da quantificação de compostos dissolvidos na água, iões e catiões, e que permitem a passagem da eletricidade.

Após uma breve análise dos valores, as estações que apresentam este parâmetro mais elevado, são as seguintes:

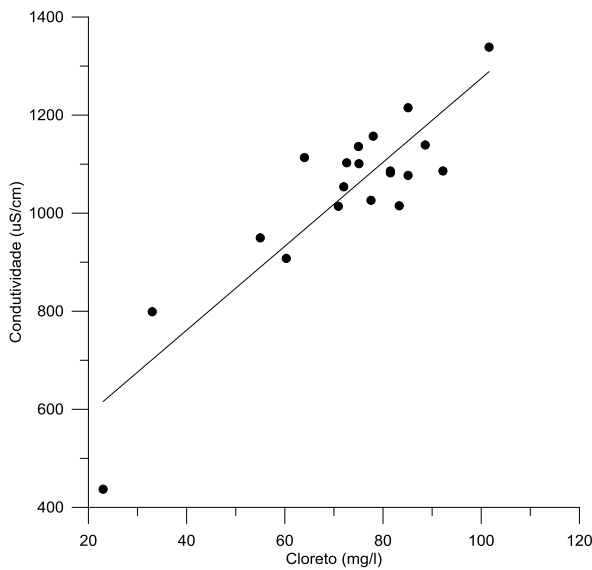
**Quadro 6.4** Valores de condutividade (uS/cm).

Data	596/808	597/109	605/282	605/322	606/972
Abr-03	-	-	1978	-	1593
Mai-03	869	1100,93	-	750	-
Out-03	-	436,99	-	-	-
Mai-04	988,79	949,63	1806,7	784,09	1486,3
Out-04	-	-	-	-	734
Nov-04	1018	1113,439	-	847	-

As estações 596/808, 597/109, 605/282 e 605/322 encontram-se sob zonas de culturas permanentes, temporárias, enquanto o ponto 606/972 localiza-se sob áreas com sistemas culturais e parcelares. Já por si só estas são atividades que contribuem para a lixiviação de sais e conseqüente aumento da condutividade, todavia o tipo de solos também têm a sua contribuição. Solos com elevada percentagem de argila, apresentam valores de condutividade bastante elevados, como é o caso dos solos Vcd integrados na classe dos solos argilosos. No caso das estações 596/808, 597/109 e 605/322 os últimos registos revelam uma tendência crescente, o que pode ser justificado com a recirculação das águas, proveniente das técnicas de rega utilizadas. Relativamente á estação 606/972, a tendência da condutividade, embora coincida sob áreas de culturas agrícolas, é decrescente, o que poderá estar relacionado com o elevado teor em argila dos solos onde está inserida esta estação (Vcd).

A correlação entre a condutividade e o ião cloreto presente nas águas subterrâneas, indica o grau de mineralização da água e a sua relação com a salinidade. Analisaram-se duas estações de monitorização.

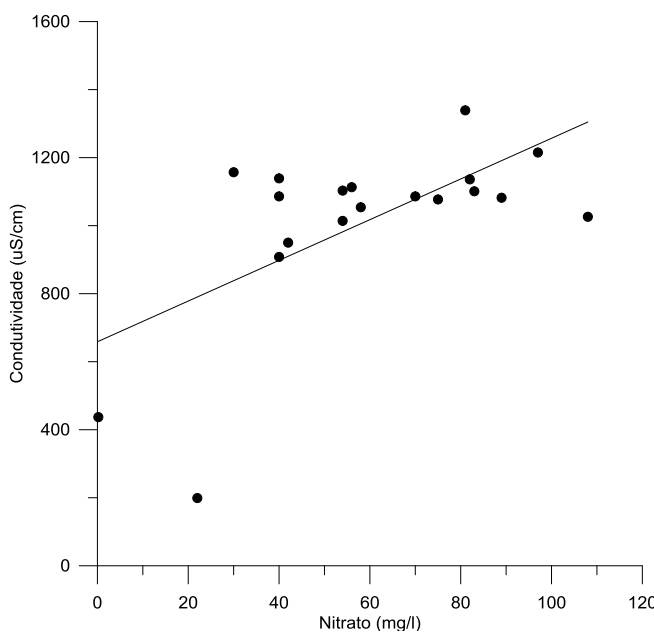
A partir de Outubro de 1998 (Quadro 6.5), à medida que a concentração de cloreto (mg/l) aumenta, aumenta também a condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Como é possível verificar pelo Gráfico 6.1 o coeficiente de relação entre estes dois parâmetros é muito significativo, sendo igual a 0,788957, o que nos revela possíveis indícios de contaminação por dissolução de evaporitos.



Data	Cloreto (mg/l)	Condutividade (uS/cm)
Abr-93	57	1558
Jun-95	83	1015
Dez-95	85	1215
Mai-96	89	1139
Fev-97	78	1157
Abr-97	92	1086
Out-97	82	1086
Abr-98	85	1077
Out-98	60	908
Abr-99	71	1014
Out-99	73	1103
Abr-00	102	1339
Out-00	72	1054
Mai-01	82	1082
Nov-01	75	1136
Mai-02	33	799
Nov-02	78	1026
Mai-03	75	1101
Out-03	23	437
Mai-04	55	950
Nov-04	64	1113

**Gráfico 6.1** Relação entre a Condutividade e CL<sup>-</sup>. **Quadro 6.5** Cloreto (mg/l) e Condutividade (uS/cm).

O Gráfico 6.2, mostra a relação linear entre a condutividade e o ião nitrato, sendo que apresenta um coeficiente de relação pouco significativo ( $R^2 = 0,393754$ ), inferior ao coeficiente entre o ião cloreto e a condutividade. No entanto, existe correlação entre os dois parâmetros, uma vez que é possível verificar que à medida que a concentração de nitrato aumenta, os valores da condutividade elétrica também segue a mesma tendência, no entanto não é possível afirmar, neste caso, que a aplicação de fertilizantes assim como as práticas de rega influenciam de forma direta esta relação.



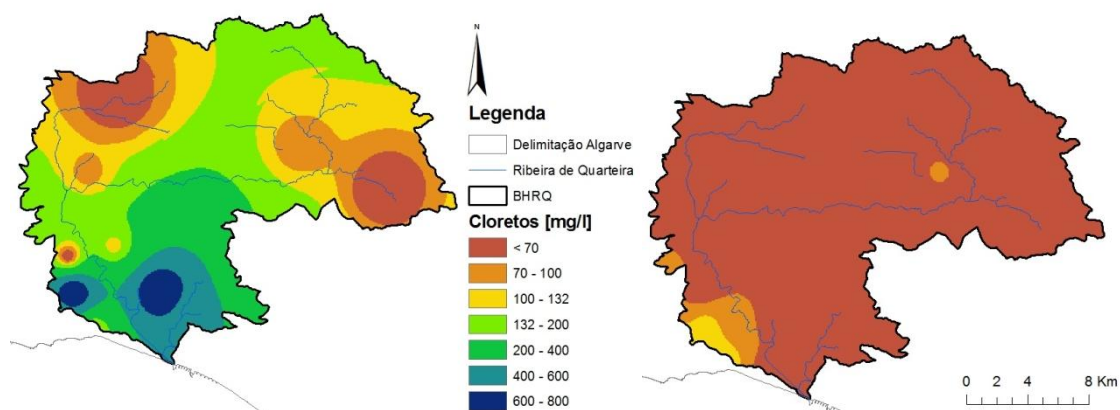
Data	Nitrato (mg/l)	Condutividade (uS/cm)
Dez-95	97	1215
Mai-96	40	1139
Fev-97	30	1157
Abr-97	70	1086
Out-97	40	1086
Abr-98	75	1077
Out-98	40	908
Abr-99	54	1014
Out-99	54	1103
Abr-00	81	1339
Out-00	58	1054
Mai-01	89	1082
Nov-01	82	1136
Mai-02	22	199
Nov-02	108	1026
Mai-03	83	1101
Out-03	0,20	437
Mai-04	42	950
Nov-04	56	1113

**Gráfico 6.2** Relação entre a Condutividade e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. **Quadro 6.6** Nitrato (mg/l) e Condutividade (uS/cm).

Relativamente ao parâmetro cloreto, para a qualidade de rega este não possui um valor máximo admissível, portanto iremos analisá-lo de acordo com as variações ao longo do período.

Numa primeira análise, fez-se uma interpolação (IDW) baseada nos valores médios deste ião (ANEXO VII), para os dois períodos em estudo. Sabendo que o VMR do cloreto é de 70 mg/l, julga-se ser interessante é visualizar a sua distribuição na BH, Figura 6.25. Posto isto, no período de 1985-1995 é evidente a distribuição das concentrações mais elevadas, vindo de norte para sul. Sabe-se que neste período, o abastecimento de águas era feito essencialmente através de captações subterrâneas, assim, as elevadas concentrações deste ião junto ao Litoral pode sugerir indícios de intrusão salina.

No período posterior, é notória a diminuição da concentração média deste ião ao longo de toda a área de estudo, podendo este facto ser justificado pela diminuição das extrações de água subterrânea, devido à alteração do abastecimento das águas nesta região (captações subterrâneas para superficiais).

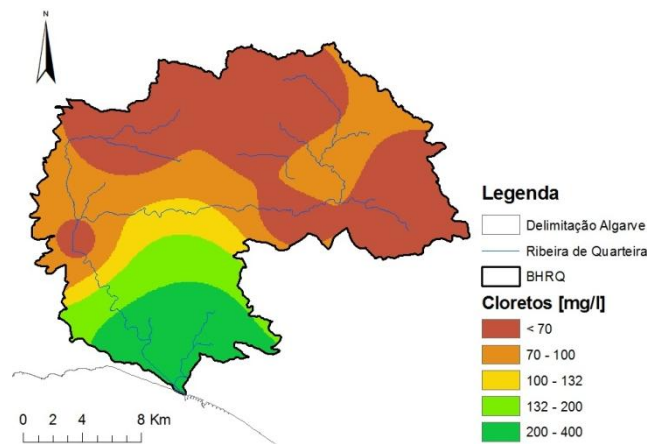


**Figura 6.23** Concentração média de cloreto (mg/l) para o período de 1985-1995 (à esquerda) e 2003-2012 (à direita).

A fim de se perceber qual a distribuição do cloreto numa situação mais recente, executou-se da mesma forma um mapa relativo ao último ano com dados, neste caso 2012, Figura 6.26. Pode-se então verificar que as concentrações tendem a aumentar à medida que se caminha para o Litoral devido à proximidade com o mar, enquanto que as concentrações de nitratos não apresentam a mesma distribuição, estando mais concentradas na Serra. Contudo é importante salientar que, na Serra os cloretos

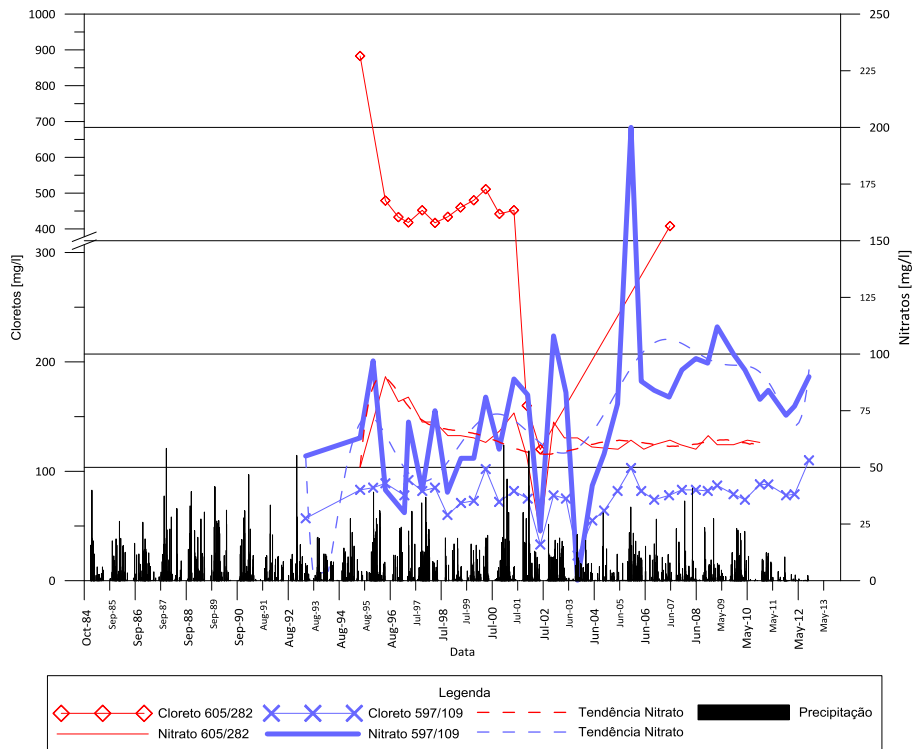
apresentam valores superiores aos valores máximos recomendados (70 mg/l) de água para rega, podendo revelar dissolução de evaporitos.

Como se pode verificar o mapa relativo ao período 2003-2012 é distinto do mapa correspondente ao ano de 2012. Apesar de não se tratarem de dados totalmente representativos uma vez que se trabalhou com valores médios, tendo em conta a relação condutividade/cloreto analisada anteriormente, os valores elevados de cloretos no Litoral devem-se possivelmente à entrada de água do mar no aquífero, incrementando a concentração deste ião.



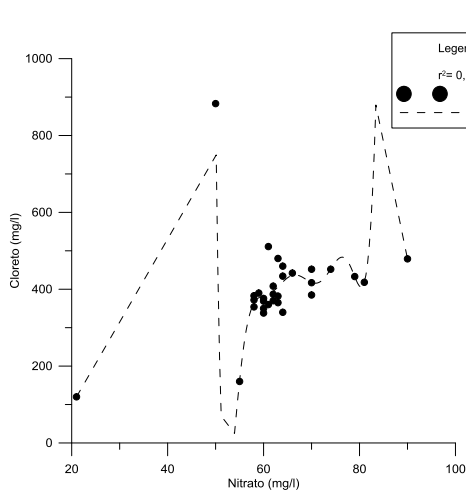
**Figura 6.24** Concentração de cloreto para o ano de 2012.

O Gráfico 6.5 mostra a evolução temporal dos iões cloreto e nitrato para as estações 605/282 e 597/109, cujas concentrações encontram-se no ANEXO VIII. Ambas as estações apresentam concentrações de nitratos superiores ao VMA (50 mg/l), sendo que na estação 597/109 no ano de 2005 foi registado um valor máximo igual a 200 mg/l. Os picos da concentração deste ião coincidem com os picos da precipitação, contudo este aumento abrupto da concentração poder-se-á justificar devido ao processo de reciclagem cíclica, revelando o comportamento conservativo do nitrato. Como já foi dito anteriormente, este processo ocorre devido a uma fertilização excessiva, a qual faz aumentar a concentração de nitrato, e assim, os solos ao serem irrigados com água subterrânea, dão início ao processo de reciclagem, cada vez mais concentrada com nitrato, graças ao fluxo de retorno.

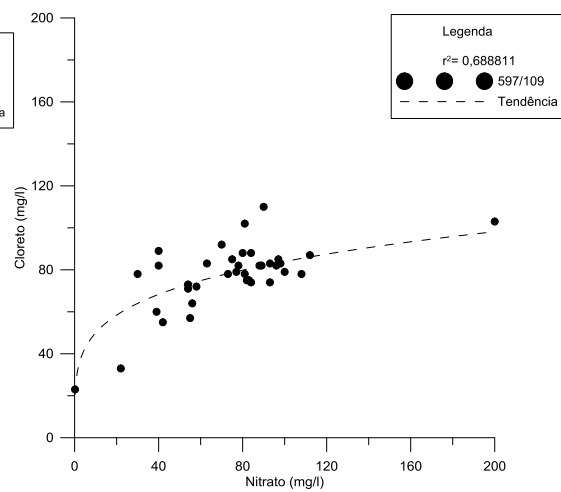


**Gráfico 6.3** Evolução temporal do nitrato e do cloreto (mg/l) para as estações 605/282 e 597/109.

Relativamente à estação 605/282, é de salientar o comportamento do cloreto no ano de 2001, cuja concentração média ronda os 400 mg/l, tendo posteriormente diminuído para a classe dos 100 mg/l. Este fenómeno, possivelmente, será devido ao processo de diluição, que faz com durante um determinado período as concentrações diminuam, voltando posteriormente aos valores médios. Este processo acontece devido ao aumento de recarga, normalmente por meio de rega. De salientar que, grande volume de recarga favorece a diminuição do potencial de poluição uma vez que possibilita a diluição das substâncias poluentes.



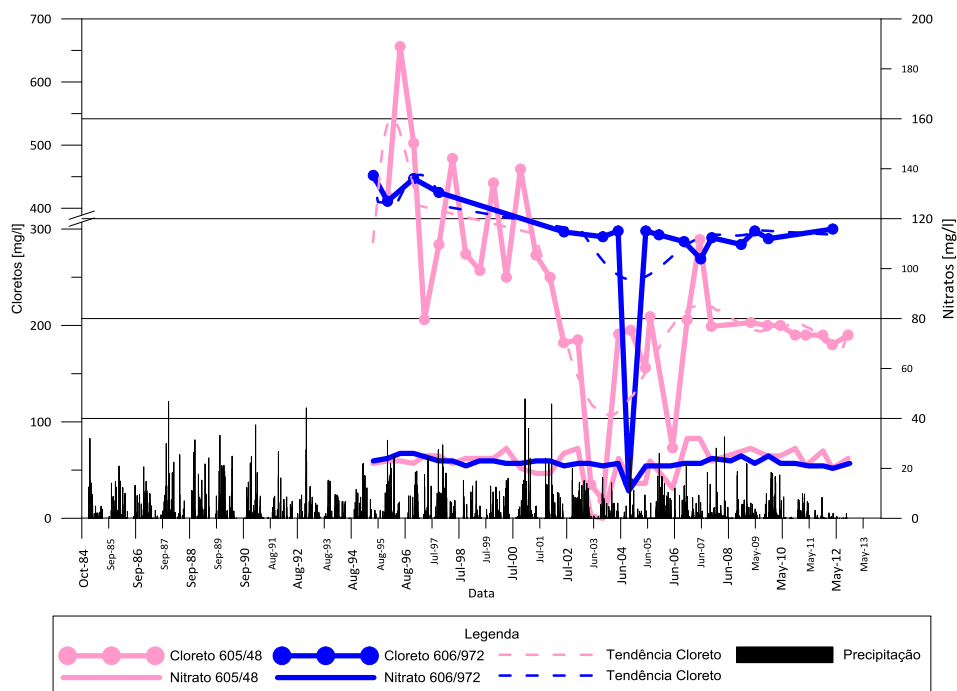
**Gráfico 6.4** Relação CL<sup>-</sup>/NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (605/282).



**Gráfico 6.5** Relação CL<sup>-</sup>/NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (597/109).

Os gráficos acima, mostram a relação entre o ião nitrato e o ião cloreto, e tanto no primeiro como no segundo gráfico a correlação entre os dois iões é muito significativa,  $r^2 = 0,908454$  e  $r^2 = 0,688811$  respetivamente. Este facto indica-nos que o aumento da concentração do cloreto induzido pelo processo de reciclagem cíclica, é acompanhado pelo aumento da concentração do nitrato, revelando o comportamento conservativo destes iões e a origem agrícola desse aumento.

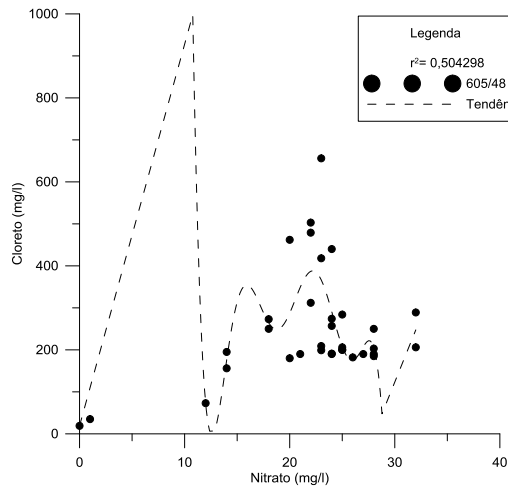
Mais uma situação de diluição do ião cloreto, ocorre nas estações 605/48 e 606/972, nos períodos de Outubro de 2003 e Outubro de 2004, respetivamente (Gráfico 6.8). Relativamente à primeira estação, o decréscimo da concentração possivelmente terá acontecido devido à precipitação registada nesse ano (2003), uma vez que o nível de cloreto desce exatamente quando se dá um pico de precipitação. Contudo, no segundo período (2004) e na estação 606/972 tal não se sucede, podendo atribuir-se a este decréscimo acentuado, o aumento da recarga proveniente da irrigação. De salientar, que nestes dois casos, as concentrações de nitrato não ultrapassam o VMA.



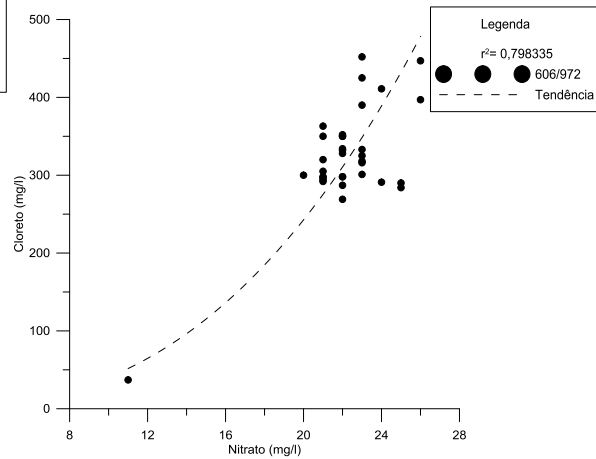
**Gráfico 6.6** Evolução temporal do nitrato e do cloreto (mg/l) para as estações 605/48 e 606/972.

Como é possível verificar nos dois gráficos abaixo, existe correlação entre os dois iões, contudo é na estação 606/972 que estes dois (cloreto e nitrato) se encontram maior relacionados, sendo que à medida que a concentração do nitrato aumenta, a

concentração de cloreto também aumenta, certamente devido aos processos de reciclagem cíclica.



**Gráfico 6.7** Relação  $CL^-/NO_3^-$  (605/48).



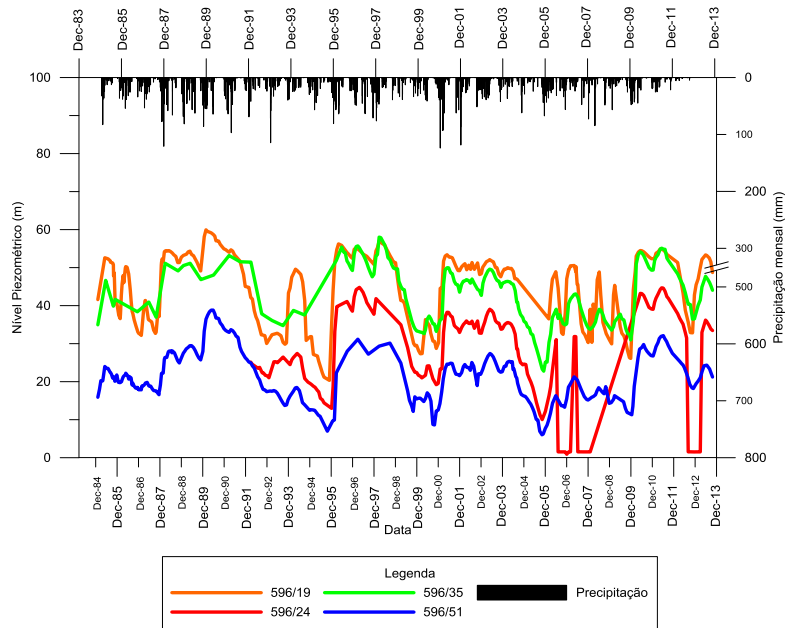
**Gráfico 6.8** Relação  $CL^-/NO_3^-$  (606/972).

## 6.7 Piezometria

De forma a perceber a evolução da piezometria ao longo do tempo, procedeu-se à análise temporal dos níveis de 8 estações de monitorização inseridas na BHRQ desde Janeiro de 1985 a Outubro de 2013 (ANEXO IX). Para uma melhor compreensão dos dados, utilizou-se os dados de precipitação diária referentes à estação meteorológica de S. Brás de Alportel, desde Janeiro de 1985 até ao período mais recente, Setembro de 2012.

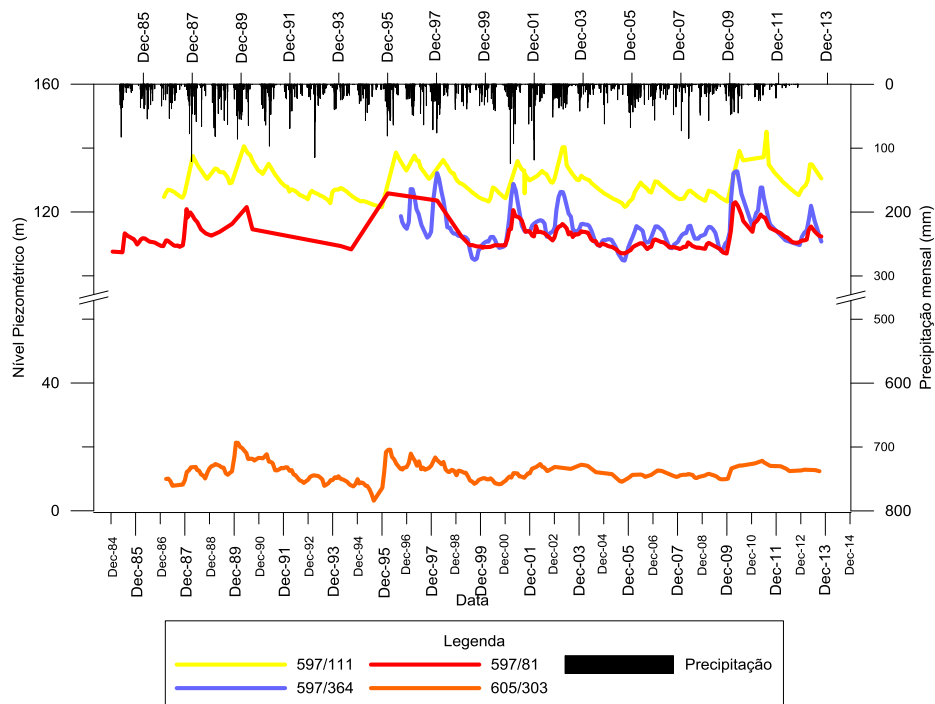
No Gráfico 6.11 é notório que os períodos mais chuvosos decorreram de 1987 a 1990 e nos anos de 1996 e 1997. A estes períodos correspondem os níveis piezométricos com maior altitude, revelando assim tempo de resposta rápido.

As quatro estações analisadas no presente gráfico, apresentam variações sazonais devido às recargas dos aquíferos, contudo nos anos 1994/1995 e 2004/2005 os níveis desceram ligeiramente devido serem anos secos, conseguindo recuperar nos anos seguintes.



**Gráfico 6.9** Evolução dos níveis piezométricos de 4 estações de monitorização desde 1985 a 2013.

Relativamente ao Gráfico 6.12, as 4 estações apresentam comportamentos paralelos, o que mostra que os piezómetros encontram-se em áreas com comportamentos similares. É importante também, evidenciar a descida acentuada dos níveis no ano 1994/1995 e 2004/2005, anos secos, assim como a subida acentuada dos níveis no ano 2000/2001, sendo que o último coincide com o ano em que se alterou o uso da água subterrânea pela água superficial das albufeiras.



**Gráfico 6.10** Evolução dos níveis piezométricos de 4 estações de monitorização desde 1985 a 2013.

Os níveis piezométricos mais altos coincidem exatamente com o período chuvoso, o que revela recarga rápida por parte do aquífero. O solo vcd (calcários duros e dolomites) que resultou dos calcários compactos do jurássico e do cretácico, e o arc (associações com afloramentos rochosos) serão responsáveis pela rápida recarga, pelo que apresentam elevada permeabilidade. De lembrar, que, quanto mais permeável for a zona não saturada, mais rápida é a difusão do contaminante e menor o tempo para atenuação.

## 7 CONCLUSÕES

As águas subterrâneas são uma componente fundamental do ciclo hidrológico. É necessário compreender o seu funcionamento nomeadamente os mecanismos de interação hidrológica e biológica com as águas superficiais. Estas são ameaçadas por diversas fontes de poluição, levando à degradação da sua qualidade, com eventuais reflexos nos ecossistemas que delas dependem. As principais ameaças na região Algarvia são as atividades agrícolas e agropecuárias intensivas, a contaminação por evaporitos e a intrusão salina em sistemas costeiros resultante da sobre-exploração dos aquíferos. O papel que a água subterrânea desempenha em Portugal e no Algarve em particular nos vários sectores socioeconómicos é muito relevante, especialmente no sector agrícola. A rega é a atividade de maior consumo de água em Portugal e que maior extensão de território ocupa.

Os mapas de susceptibilidade e de vulnerabilidade surgem na necessidade de proteger e avaliar as águas subterrâneas à contaminação. Os mapas de vulnerabilidade à poluição são geralmente elaborados a partir do cruzamento de dados geológicos e hidrogeológicos, ocupação do solo, entre outros parâmetros, aos quais se podem atribuir pesos distintos em função da sua importância na contribuição para a vulnerabilidade do aquífero.

Na presente dissertação foram aplicados os métodos DRASTIC e IS à BHRQ para os períodos 1985-1995 e 2003- 2012. Embora distintos, ambos concluem que a BH no período 1985-1995 teria sido mais vulnerável do que no período mais recente, aumentando a vulnerabilidade nas zonas mais próximas do Litoral. É importante lembrar que quanto menor for a profundidade do topo do aquífero e mais elevada for a permeabilidade da zona não saturada, mais rápida será a chegada do contaminante ao aquífero. A recarga promove a lixiviação das águas, poluídas ou não, assim como os declives baixos facilitam a infiltração, sendo este um dos motivos pelos quais a Serra se encontra mais protegida. Por fim, solos ricos em argila diminuem a mobilidade dos contaminantes, uma vez que a argila possui grande capacidade de adsorção.

O DRASTIC é um método intrínseco, que pesa apenas os parâmetros hidrogeológicos, o que faz com que os resultados produzidos possam não ser os mais representativos. As atividades que decorrem no solo influenciam o estado do sistema.

Em contrapartida, o IS é um índice que inclui o parâmetro ocupação do solo, fazendo com que os resultados finais sejam mais próximos do estado atual de contaminação.

A análise dos mapas de Uso e Ocupação do Solo para os anos de 1990, 2000 e 2006 indica que as áreas de regadio e as áreas agrícolas aumentaram ligeiramente no ano 2000 seguida de uma pequena redução no ano 2006, devido a um período de seca e consequente perda de uso. Esta diminuição, poderá ser um dos motivos pelo qual no mapa final IS se verifica uma diminuição da vulnerabilidade, visto que são atividades contribuidoras para a poluição dos aquíferos.

O objetivo principal da dissertação foi estudar o risco de degradação qualitativa na Bacia Hidrográfica da Ribeira de Quarteira, nomeadamente a salinização e a contaminação por nitratos, bem como a degradação quantitativa relacionadas com a exploração dos recursos hídricos subterrâneos. Em parte o objetivo foi conseguido, uma vez que foi possível produzir mapas de vulnerabilidade à contaminação assim como mapas de distribuição da concentração de nitratos e cloretos e avaliá-los, contudo no que concerne à degradação quantitativa, não foi possível fazer uma avaliação devido à falta de dados quantitativos, relativos às extrações de água subterrânea.

Da análise do mapa dos nitratos foi possível verificar que as estações com maior concentração deste composto, encontram-se sob áreas urbanas ou sob áreas com culturas permanentes, olivais, vinhas e pomares. A origem principal da contaminação por nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) envolve quase sempre o uso intensivo de fertilizantes nas práticas agrícolas. Os fertilizantes azotados são em geral usados de forma excessiva, e o nitrato é lixiviado chegando rapidamente às águas subterrâneas, devido à sua extrema mobilidade. Pode-se provar no entanto que o aumento das concentrações do ião nitrato não se deve somente ao uso excessivo de fertilizantes, mas que também é induzido por outras práticas agrícolas, nomeadamente pela rega. As práticas de irrigação assim como as características litológicas do terreno têm um papel dominante na deterioração das águas subterrâneas, uma vez que induzem o processo de reciclagem e o aumento da mineralização das águas. O mapa correspondente à concentração deste ião para o ano de 2012, é distinto do mapa relativo ao período mais recente (2003-2012), contudo é coincidente na zona da Serra. As diferenças verificadas foram por isso as que seriam de esperar, pois foram comparados dados de um período de 10 anos e um período de 1 ano.

Os mapas produzidos para os mesmos períodos aplicados no DRASTIC e IS surgem na necessidade de complementar a informação produzida pelos mapas de vulnerabilidade.

A análise da concentração do cloreto para 2012, revela níveis elevados próximos do Litoral, no entanto na Serra foi detetada uma região com níveis elevados, possivelmente relacionada com a dissolução/contaminação de evaporitos. Os iões nitrato e cloreto encontram-se relacionados, evidenciando a ocorrência de processos de reciclagem cíclica, provenientes da prática de irrigação das culturas. Relativamente à análise do funcionamento dos aquíferos incluídos na área de estudo, conclui-se que devido à litologia de cada um, apresentam grande capacidade de resposta a eventos de chuva, podendo-se pensar então que terão comportamentos similares em caso de contaminação.

Métodos intrínsecos como o modelo DRASTIC, consideram apenas parâmetros hidrogeológicos, não ponderando parâmetros que influenciam a qualidade das águas como o uso do solo. Sendo que o nitrato tem um comportamento conservativo, métodos como o DRASTIC não permitem uma correta avaliação da vulnerabilidade do sistema, uma vez que atribuem grande importância à capacidade de atenuação dos parâmetros hidrogeológicos. O índice de susceptibilidade, ao incluir o parâmetro ocupação do solo, faz com que se pondere atividades poluidoras que influenciam a vulnerabilidade do sistema e uma vez que parte considerável da BHRQ, é ocupada por culturas agrícolas, o IS é um índice mais adequado.

É importante incentivar políticas que visem assegurar a gestão integrada das origens de água superficiais e subterrâneas, promovendo a complementaridade hidrológica entre aqueles recursos, articulando com os instrumentos de ordenamento do território e do domínio hídrico.

Batista *et al.*, (2004), considera que as fertilizações deverão ser realizadas de forma equilibrada e fracionada, tendo em atenção as necessidades da cultura e as disponibilidades do solo e da água de rega. Deverá, também, ser assegurada uma correta gestão da rega, executada com oportunidade e adotando métodos e dotações adequadas, com base nas necessidades de água da cultura, do clima da região e das características do solo, de modo a maximizar a absorção de água e de nutrientes do solo e a reduzir os riscos de lixiviação de agroquímicos para as águas subterrâneas.

Para além da definição das ZV torna-se assim importante realizar ações de formação e informação dos agricultores, previsto no artigo 4º da Diretiva Nitratos, de forma a promover a aplicação de boas práticas agrícolas, especialmente no que diz respeito à utilização de fertilizantes, como salvaguarda dos recursos hídricos que constituem património nacional.

### **7.1 Limitações do Estudo**

Pretendeu-se que a presente dissertação fosse o mais abrangente possível, no entanto, ao longo da realização do estudo encontraram-se alguns constrangimentos, de seguida indicados:

- Numa primeira fase de recolha de informação, para a realização dos mapas de vulnerabilidade existiram determinadas lacunas a nível de fornecimento de dados;
- Existiram dificuldade na obtenção de alguns parâmetros de quantidade e qualidade relativos aos sistemas aquíferos em estudo;
- A atribuição das classificações de alguns parâmetros poderão ser discutíveis, sendo necessário conhecer-se na íntegra o funcionamento do sistema.

### **7.2 Limitação dos Índices de Vulnerabilidade**

- Dificuldade em estimar determinados parâmetros hidrogeológicos que entram na definição dos índices, acabando por vezes, por se recorrer à simplificação;
- Desconhecimento e relativização dos fenómenos que realmente intervêm na contaminação de águas subterrâneas;
- Necessidade de saber de que forma se introduz esses parâmetros nos índices de vulnerabilidade, para que não se produzam conclusões erradas distintas da realidade;
- O modelo DRASTIC não estima outros fatores realmente importantes, que são determinantes para a susceptibilidade de uma região à contaminação das águas subterrâneas, tais como a proporção e a persistência do contaminante.

### **7.3 Linhas Futuras de Pesquisa**

Como recomendações para pesquisas futuras a serem realizadas para reforçar os resultados alcançados neste estudo sugere-se:

- Realizar uma verificação dos resultados do modelo DRASTIC e IS, no caso da área em avaliação estar caracterizada e contaminada, de forma a validar e a progredir na avaliação da vulnerabilidade de aquíferos à contaminação;
- Realizar análises de extracções subterrâneas para irrigação de culturas;
- Implementar um sistema de informação para a população, relativamente às boas práticas de rega e de adubação.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **Aller L., Bennet T., Lehr J.H. & Petty R. J.** (1987). *DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings*. U.S. EPA Report 600/2-85/018.
- **Almeida, C.** (1985). *Hidrogeologia do Algarve Central*. Dissertação para a obtenção do Grau de Doutor em Geologia, na especialidade de Hidrogeologia. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, 333 p.
- **Almeida, C., Mendonça, J., Jesus, M., Gomes, A.** (2000). *Sistemas Aquíferos de Portugal Continental*. Centro de Geologia, Instituto da Água, Portugal.
- **Almeida, C., Silva ML** (1987). *Incidence of agriculture on water quality at Campina de Faro (South Portugal)*. In: 4th Symposium on Hydrogeology, *Hidrogeologia y Recursos Hidráulicos*, vol. 12, Madrid, p. 249–257.
- **Almeida, C., Silva, M.** (1990). *Hidrogeologia do Miocénico entre Albufeira e Ribeira de Quarteira*, Geolis, Vol. IV. (1 e 2) p. 199-216.
- **Andrade, C., Freitas, M.** (2009). *Alterações Climáticas e Impactos na linha de Costa*. XXIX Curso de Atualização de Professores em Geociências, Centro Interdisciplinar de Estudos Educacionais, Escola Superior de Educação de Lisboa, Lisboa.
- **ARH** (2012). *Plano de gestão das bacias hidrográficas que integram a região hidrográfica das ribeiras do Algarve (RH8)*. Volume I – Relatório. Parte 2 – Caracterização e diagnóstico. Tomo 2 – Caracterização das massas de água superficiais e subterrâneas. Administração da Região Hidrográfica do Algarve LP, Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território.
- **Caetano, M., V. Nunes e A. Nunes** (2009). *CORINE Land Cover 2006 for Continental Portugal*, Relatório técnico, Instituto Geográfico Português.
- **Caetano, M., A. Araújo, A. Nunes, V. Nunes e M. Pereira** (2009). *Accuracy assessment of the CORINE Land Cover 2006 map of Continental Portugal*, Relatório técnico, Instituto Geográfico Português.
- **Costa, J.** (2006). *Calibração Inversa de um Modelo de Escoamento Subterrâneo, co aplicação aos Sistemas Aquíferos de Albufeira-Ribeira de Quarteira e Quarteira*.

Dissertação apresentada para obtenção do Grau de Mestre em Hidráulica e Recursos Hídricos. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

- **CNIG**- Centro Nacional de Informação Geográfica (1988). *Carta Corine Land Cover (1985 -1987) [online]*. 1ª Ed. [Lisboa, Portugal]. Disponível na World Wide Web: <http://www.cnig.pt>. em formato Drawing Exchange Format.
- **Cruz, J.V.** (1992). *Hidrogeologia da Ilha de Santa Maria. Dissertação de Mestrado em Geologia Económica e Aplicada*. Universidade de Lisboa, 239 pp.
- **Decreto-Lei nº. 235/97**. D.R.I Série. 203 (97-09-03) 4640 – 4644.
- **Decreto-Lei nº. 236/98**. D.R.I Série. 176 (98-01-08) 3676 – 3722.
- **Decreto-Lei nº. 382/99**. D.R. I Série. 222 (99-09-22) 6623 - 6627.
- **DGADR** (2008). *Caracterização do Aproveitamento Hidroagrícola do Sotavento Algarvio* Direcção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural, Lisboa.
- **Directiva 2000/60/CE** do Parlamento Europeu e do Conselho (2000-12-22) L 327/1-327/72.
- **Directiva 2006/118/CE** do Parlamento Europeu e do Conselho (2006-12-27) L 372/19- 372/31.
- **Directiva 2009/77/CE** do Parlamento Europeu e do Conselho (2009-07-02) L 172/23-172/33.
- **Do Ó, A., Monteiro, J. P.** (2006). *Estimação da Procura Real de Água no Algarve por Sectores*. 5º Congresso Ibérico sobre Gestão e Planeamento da Água. Fundação Nova Cultura da Água. Faro, pp 140-141
- **Fernandez, P., Simões, F., Frazão, F., Monteiro, J. M., Afonso, F., Roque, N & Vilela, B.** (2007). *Os Sistemas de informação geográfica como ferramenta de apoio à decisão na exploração e gestão de aproveitamentos hidroagrícolas- GestRegaSIG*. II Congresso Nacional de Rega e Drenagem, Fundão, Portugal.
- **Ferreira da Silva, J., Haie, N.** (2000). *Planeamento e Gestão Global dos Recursos Hídricos Costeiros. Estratégias para a Prevenção e Controlo da Intrusão Salina*. 5º Congresso Nacional da Água. Lisboa, Portugal.

- **Ferreira da Silva, J., Ribeiro, L.** (2006). *Efeitos das Alterações Climáticas e da Subida do Nível do Mar nos Aquíferos Costeiros*. 8º Congresso da Água, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, Figueira da Foz, Portugal.
- **Filho J., Barbosa M., Azevedo S., Carvalho A.** (2011) *O Papel das águas Subterrâneas como Reserva Estratégica de Água e Directrizes para a sua Gestão Sustentável*. ISSN 0870-1741, Volume 32 n 2. Recursos Hídricos, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos.
- **Foster, S., Hirata R., Gomes D., D'Elia M., Paris, M.** (2002). *Groundwater Quality Protection a guide for water utilities, municipal authorities, and environment agencies*, The World Bank Washington, D.C.
- **Henriques, A., West, C.** (2000a). *Instrumentos Económicos e Financeiros para a Gestão Sustentável da Água*, Parte I- Aspectos Conceptuais e Obrigações Estabelecidas pela Directiva- Quadro da Água. Congresso da Água, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos.
- **Henriques, A., West, C.** (2000b). *Instrumentos Económicos e Financeiros para a Gestão Sustentável da Água*, Parte II- Aplicação em Portugal. Congresso da Água, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos.
- **ICN** (2004). Instituto de Conservação da Natureza. Plano de Ordenamento do Parque Natural da Ria Formosa- Estudos de Caracterização, Volume I (Revisão).
- **IGP** (2006). CORINE Land Cover 2006. Instituto Geográfico Português. Lisboa.
- **INAG** (2001) *Plano nacional da água – introdução, caracterização e diagnóstico da situação actual dos recursos hídricos*. Instituto da Água I. P. Vol.1 E2. Lisboa.
- **INAG** (2006). *Implementação da Directiva Quadro da Água*. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Instituto da Água, I. P. Lisboa.
- **INAG** (2001). *Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água*, Versão Preliminar. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território Estudo elaborado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e pelo Instituto Superior de Agronomia (ISA). Lisboa.

- **INE** (2011). *O Uso da Água na Agricultura*. Instituto Nacional de Estatística I.P.
  
- **Kopp, E., Sobral, M., Soares, T., Woerner, M.** (1989). Os solos do Algarve e as suas características. Vista Geral. Faro: DGEA- DRAA- GTZ,180 p. Depósito Legal n.º 153317/00
  
- **Kumar, C.** (2006). *Management of Groundwater in Salt Water ingress Coastal Aquifers*. National Institute of Hidrology, Roorkee.
  
- **Larson, St., Capel, P., Majewski, M.** (1997). *Pesticide in surface waters. Distribution, trends and governing factors*. Ann Arbor Press, Inc, Michigan, 378p.
  
- **Lencastre, A., Franco, F.** (1984). Lições de Hidrologia. Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Lisboa. pp.449.
  
- **LNEC-** Laboratório Nacional de Engenharia Civil (2002). Cartografia da Vulnerabilidade à Poluição das águas Subterrâneas do concelho de Montemor-O-Novo utilizando o método DRASTIC- Departamento de Hidráulica. Grupo de Investigação de Águas Subterrâneas. Lisboa.
  
- **Lobo- Ferreira J. P. C., Oliveira, M. M., Moinante, M.J.** (1997). *Cartografia Automática da vulnerabilidade de Aquíferos com Base na Aplicação do Método DRASTIC*. Relatório final, Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, relatório 60/97-GIAS.
  
- **Lobo-Ferreira, J.** (1998).- Vulnerabilidade à poluição de Águas Subterrâneas: Fundamentos e conceitos para uma melhor gestão e protecção dos aquíferos de Portugal. 4º Congresso da Água, Lisboa.
  
- **MADRP** (1997). Manual básico de práticas agrícolas: Conservação do Solo e da Água. Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas.
  
- **MAMAOT** (2013). Base de dados online. Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território. DGDR- Direcção- Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural. Acedido em: <http://www.dgadr.mamaot.pt/rec-hid/nec-hidricas-culturas>

- **MAMAOT** (2012a). *Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas que integram a Região Hidrográfica das Ribeiras do Algarve- Volume I- Relatório*. Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território. Agência Portuguesa do Ambiente. Administração da Região Hidrográfica do Algarve, LP.
- **MAMAOT** (2012b). - Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território *Poluição provocada por nitratos de origem agrícola*. Directiva 91/676/CEE, Relatório 2008-2011. Lisboa.
- **MAOT** (2000). *Plano de Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Algarve, 1ª Fase*. Análise e diagnóstico da Situação de Referência. Volume IV- Diagnóstico. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território Instituto da Água, Direcção Regional do Ambiente.
- **MAOT** (2011). *Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas que integram a Região Hidrográfica das Ribeiras do Algarve (RH8)*. Fórum de Participação Pública: Utilização da Água. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. Administração da Região Hidrográfica do Algarve I.P. Tavira.
- **MAOTDR** (2009). *Articulação entre a Gestão da Água e a Conservação da Natureza e da Biodiversidade*. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. ISBN 978-989-8097-17-0.
- **MAPoteca** (2008). Nomenclatura da Carta de Uso do Solo para Portugal Continental. <http://web.letras.up.pt/mapoteca/>
- **Martins, J., Monteiro, J.P., Ribeiro, L., Martins, R., Bento, L.** (2006). *Monitorização e Modelação dos Aquíferos Costeiros do Algarve*, VII Congresso Nacional de Geologia, Universidade de Évora.
- **Mendes, D.** (2010). *Cálculo da Recarga do Aquífero Querença-Silves- Aplicabilidade do Modelo SWAT a Bacias Hidrográficas sobre Aquíferos Cársicos*. Dissertação apresentada para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- **Mendonça, J., Almeida, C.** (2003). *A Exploração de Recursos Hídricos Subterrâneos- O exemplo do Sistema Aquífero Querença-Silves*. Rev. Assoc. Port. Rec. Hídricos (APRH). Vol. 24, nº3. Lisboa, pp 53-62.

- **Monteiro, J., Do Ó, A.** (2005). *Diagnóstico do Risco de Secas no Algarve- Uma abordagem geográfica*. Ass. Port. Geógrafos, Assoc. Geógrafos Esp. Dep. Geociências Universidade de Évora. X Colóquio Ibérico de Geografia. 15 pp.
- **Monteiro, J., Martins, P., Martins, R.** (2005). *Estudo Hidrogeológico para o dimensionamento do Sistema de Abastecimento de Água do Campo de Golfe e Estruturas Turísticas associadas de Vila Sol*. Actas do 7º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa (SILUSBA). Univ. Évora Org. APRH, ABRH, AMCT, INGRH. Resumo pág. 110 e Doc. elect. CD-ROM 15 pp.
- **Monteiro, J.P.** (2006). *Hidrogeologia do sistema aquífero Querença-Silves. Guia de campo- Parte I*. Encontro de Professores de Geociências do Alentejo e Algarve, Universidade do Algarve.
- **Monteiro, J.P.; Martins, R.R.; Nunes, P.; Diogo, A.** (2003). *Evolução do Uso de Águas Subterrâneas nas Redes Urbanas de Abastecimento Público Entre Albufeira e Quarteira (Algarve Central)* in Ribeiro L. & Peixinho de Cristo F. (eds.) *As Águas Subterrâneas no sul da Península Ibérica*. Assoc. Intern. Hidrog. APRH publ., pp83-93.
- **NNC** (2002). "Management of aquifer recharge and subsurface storage. Making better use of our largest reservoir". Editors Albert Tuinhof e Jan Piet Heederik. Seminar Wageningen 18-19 Dezembro 2002. Organised by the Netherlands National Committee (NNC) para a International Association of Hydrogeologists (IAH), pp 106.
- **Paralta, E.** (2009). *Utilização de Modelos de Recarga e Técnicas Isotópicas na avaliação do impacte da agricultura na qualidade da água subterrânea de zonas agrícolas- Caso de estudo no Aquífero dos Gabros de Beja*. Dissertação apresentada para obtenção do Grau de Doutor em Ciências de Engenharia. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico.
- **Paralta, E., Oliveira, M., Batista, S., Francês, A., Ribeiro, L., Cerejeira, M.** (2001). *Aplicação de SIG na Avaliação da Vulnerabilidade aquífera e Cartografia da contaminação agrícola por pesticidas e nitratos na região do Ribatejo*. Seminário A Hidroinformática em Portugal, LNEC, 12p Lisboa.

- **PBHRA** (1999). *Análise e Diagnóstico da Situação de Referência, 2ª Fase*. Plano de Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Algarve. Ministério do Ambiente, Direcção Regional do Algarve, Instituto da Água.
- **PROTAL** (2004). Volume II *Caracterização e Diagnóstico Anexo H*. Plano Regional de Ordenamento do Território do Algarve. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Comissão de Coordenação e de Desenvolvimento do Algarve.
- **Reis, E., Gago, C.** (2013). *Plano Específico de Gestão da Água (PEGA) na Área Crítica do Algarve- Contributos para a sua elaboração*. 9º Seminário sobre Águas Subterrâneas. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- **Remesan, R., Panda, R.** (2007). *Groundwater Quality Mapping Using GIS: A Study from India's Kapgari Watershed*. Wiley InterScience, DOI: 10.1002/tqem.20130.
- **Ribeiro L.** (2005). *Desenvolvimento e aplicação de um novo índice de susceptibilidade dos aquíferos à contaminação de origem agrícola*. 7º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, APRH, Portugal, Évora.
- **Ribeiro, L., Paralta, E., Nascimento, J., Amaro, A., Oliveira, E., Salgueiro, A.** (s.d.). *A agricultura e a delimitação das zonas vulneráveis aos nitratos de origem agrícola segundo a directiva 91/676/CE*.
- **Rodrigues, R., Brandão, C., Lopes, A., Orlando, M., Nunes, M.** (2005). *Análise prévia do período seco do início do ano hidrológico de 2004/2005 feita em Janeiro de 2005*. Programa de Vigilância e Alerta de Secas 2004/2005, SNIRH.
- **Santos, F., Forbes, K., Moita, R.** (2001). *Mudança Climática em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação- SIAM*. Sumário Executivo e Conclusões, Gradiva, Lisboa.
- **Serra, E., Paralta, E., Nascimento, J., Ribeiro, L.** (2003). *Análise comparativa de dois Índices de Poluição Agrícola no Sistema Aquífero dos Gabros de Beja (Sector da margem esquerda do Rio Guadiana)*. Jornadas Luso-Espanholas sobre Águas

Subterrâneas no sul da Península Ibérica, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos.

- **Silva, P., Haie, N.** (2006). *Análise da Quantidade de Azoto em Excesso em Solos Agrícolas na Zona Vulnerável nº1*. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, 8º Congresso da Água, Figueira da Foz.

- **SNIRH**. Base de dados online. Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH)- Instituto da Água, I.P. Acedido em: <http://snirh.pt> (várias consultas).

- **Stigter T.** (2005). *Integrated Analysis of Hydrogeochemistry and Risk Assessment of Groundwater Contamination Induced by Agricultural Practices; Two Case Studies: Campina de Faro and Campina da Luz, Algarve, Portugal*, Tese de Doutoramento em Ciências de Engenharia, IST, Lisboa

- **Stigter, T. Y., Ribeiro, L., Dill, A.** (2006). *Evaluation of an intrinsic and a specific vulnerability assessment method in comparison with groundwater salinisation and nitrate contamination levels in two agricultural regions in the south of Portugal*. Hydrogeology Journal 14 (1-2): 79-99.

- **Stigter, T. Y., Vieira, J., Nunes, L.M.** (2002). *Avaliação da Susceptibilidade à Contaminação das Águas Subterrâneas no apoio à tomada de decisão- Caso de estudo: Implantação de Campos de Golfe no Concelho de Albufeira (Algarve)*. 6º Congresso da Água, Porto.

- **Stigter, T., Dill, A.** (2000). *Limitações do Modelo DRASTIC- Aplicado a duas regiões algarvias contaminadas por nitratos*. 5º Congresso da Água, Associação Portuguesa de Recursos Hídricos. Lisboa, Portugal. Doc. elect. CD-ROM.

- **Stigter, T., Ribeiro, L., Dill, A.** (2005). *Application of a groundwater quality index as a assessment and communication tool in agro- environmental policies- Two Portuguese case studies*. Journal of Hydrology 327, 578-591.

- **Stigter, T., Ribeiro, L., Dill, A.** (2006). *Evaluation of an intrinsic and a specific vulnerability assessment method in comparison with groundwater salinisation and nitrate contamination levels in two agricultural regions in the south of Portugal*. Hydrogeol Journal 14:79–99 DOI 10.1007/s10040-004-0396-3.

- **Tenreiro, R., Cunha, M., Monteiro, J.P., Vieira, J.** (2008). *Modelos de apoio à decisão para a Gestão das Águas Subterrâneas*. 6º Congresso Ibérico sobre Gestão e Planeamento de Água. Fundação Nova cultura da Água, Vitoria. Doc. electr. CD-ROM, 10pp.
- **Vale, B., Haie, N.** (2006). *Efeitos prejudiciais na saúde Humana derivados por ingestão de Nitratos na zona Vulnerável N.º 1 (Freguesias; Apúlia, Fão) e na Zona não vulnerável (Freguesias: Fonte Boa, Gandra, Gemeses, Rio Tinto)*. 8º Congresso da Água. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. Figueira da Foz.
- **Vieira, J.** 2000a. *Sistemas de Apoio à Decisão na Gestão de Recursos Hídricos*. Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães.
- **Vieira, J.** (2000b). *Seleção das captações subterrâneas municipais a integrar no Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água ao Barlavento Algarvio (Portugal)*
- **West, C., Pio, S., Henriques, A.** (2000). *Estratégia de Protecção e Gestão das Águas Subterrâneas na Directiva-Quadro da Água*. Congresso da Água, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos.
- **WHO** (1996). World Health Organization- *Diretrizes para a qualidade da água potável*, 2ª ed., Vol. 2, Organização Mundial de Saúde. WHO, Genebra, Suíça, 973 pp.

# ANEXOS

## ANEXO I:

**Quadro Ia.** Informação dos níveis piezométricos relativos ao período 1985-1995.

Estação	Coordenadas X (m)	Coordenadas Y (m)	Mínimo (m)	Média (m)	Mediana (m)	Máximo (m)
596/272	194800	24500	-15,47	9,62	15,90	25,89
596/279	193600	26400	10,59	17,75	17,89	22,21
596/322	195150	25450	11,76	17,83	17,28	23,16
596/273	194600	24850	8,92	16,63	16,17	24,77
596/275	194850	25150	-18,10	7,78	16,15	24,50
596/276	195350	25360	9,60	18,92	18,90	26,20
596/277	195250	25750	8,64	18,33	18,31	25,01
597/87	208100	24350	101,43	106,31	107,12	109,15
596/278	194950	25650	12,01	17,07	17,86	22,41
596/262	184300	29700	3,99	16,44	17,48	32,29
596/259	192100	25250	6,01	20,24	18,89	36,15
597/95	202500	28400	132,50	134,48	134,18	137,36
597/96	202450	28350	117,04	123,54	122,81	137,69
595/212	182000	25550	3,40	12,77	11,24	25,51
597/111	207560	28120	121,50	128,28	126,80	140,58
587/20	186800	30700	46,37	53,45	51,91	66,16
606/979	200950	18550	13,18	34,32	31,25	65,48
605/107	197000	16680	6,51	9,44	8,99	14,09
597/92	201850	21250	254,60	256,49	256,60	259,20
597/91	204200	24300	74,46	86,97	88,73	97,51
605/112	198830	16850	-10,50	14,38	15,70	16,57
597/85	214700	20100	193,64	199,12	195,20	232,05
597/84	213310	26450	204,26	207,98	207,93	210,87
597/83	201200	29900	271,08	273,78	273,00	280,38
597/81	200150	27450	107,38	112,32	111,38	121,53
597/80	204050	24450	82,12	87,84	88,20	92,45
597/78	203420	21200	146,88	164,44	160,52	186,52
597/138	204300	25020	90,33	93,21	92,80	98,14
605/134	197290	15810	1,59	7,81	8,46	11,55
597/105	202950	27400	118,80	122,34	121,45	128,77
584/7	141000	39650	5,79	7,06	7,13	8,43
596/51	192990	24500	6,97	22,52	20,68	38,82
596/35	197550	26480	34,74	43,68	41,64	53,18
605/200	195600	14350	0,38	0,80	0,87	1,08
596/302	195300	26200	9,51	18,75	18,71	26,71
596/284	193740	25100	7,28	15,42	15,47	21,18
605/303	199800	17200	3,16	12,01	11,39	21,35
605/327	189500	16500	46,09	50,97	51,45	55,25
605/42	190420	17820	69,40	70,58	70,08	71,75
605/43	188090	13850	30,77	31,83	31,78	34,43
605/56	189210	15070	13,88	15,62	15,63	18,60
596/27	193880	26190	4,18	22,45	22,55	34,67
606/1043	206700	15450	6,95	12,42	11,94	19,65
606/1044	207200	17005	11,74	26,12	21,56	47,36
596/24	195800	26590	12,97	21,67	22,31	27,43
596/218	188450	22300	47,93	50,82	50,80	53,93
596/19	197060	24680	20,34	44,32	46,87	59,94
596/122	187980	25590	11,59	18,76	17,48	26,30
595/80	183740	26440	4,36	14,76	12,89	27,16
595/76	181270	25660	6,42	13,71	12,47	24,27
595/55	180070	25460	7,04	13,79	11,68	23,89
595/308	177700	26200	3,25	5,95	6,36	7,76
606/1045	208400	18650	39,24	53,58	51,57	77,82
595/160	177560	26330	-6,19	12,84	11,53	23,86
587/7	189560	30820	138,15	146,90	145,23	157,83
606/1049	205850	19200	21,58	57,93	60,83	86,70
587/19	194650	30830	192,95	214,08	215,28	218,28
596/59	186570	29100	10,31	15,95	13,46	31,19
584/8	140910	39250	5,96	8,24	8,69	9,56

**Quadro Ib.** Informação dos níveis piezométricos relativos ao período 2003- 2012.

<b>Estação</b>	<b>Coordenadas X (m)</b>	<b>Coordenadas Y (m)</b>	<b>Mínimo (m)</b>	<b>Média (m)</b>	<b>Mediana (m)</b>	<b>Máximo (m)</b>
587/19	194650	30830	154,05	201,59	208,76	217,78
587/39	189550	30800	134,52	150,12	150,23	161,78
589/32	217250	30250	411,74	419,69	421,21	426,71
596/19	197060	24680	26,12	45,24	48,89	54,89
596/218	188450	22300	49,30	51,73	51,66	54,05
596/24	195800	26590	10,02	32,48	35,02	44,69
596/243	192170	29700	67,02	77,32	72,20	105,91
596/259	192100	25250	5,25	24,72	25,09	28,69
596/35	197550	26480	22,76	40,96	40,34	55,11
597/111	207560	28120	121,58	133,99	134,11	145,12
597/121	203800	22700	82,13	102,89	101,36	137,08
597/362	215250	23300	180,66	184,88	184,19	192,36
597/364	207900	25450	104,77	114,85	113,69	132,69
597/365	201100	29800	242,29	263,99	265,27	278,41
597/81	200150	27450	106,98	111,93	111,00	123,06
597/85	214700	20100	194,44	201,11	195,12	232,58
597/96	202450	28350	118,15	129,94	130,05	132,92
598/132	223020	21850	235,24	250,62	248,75	266,62
605/107	197000	16680	9,32	11,94	11,79	14,46
605/212	193120	14530	-2,32	-1,64	-1,64	-1,01
605/303	199800	17200	9,09	11,93	11,39	15,65
605/324	194350	17460	13,78	24,10	23,20	34,29
605/345	196243	14511	4,57	4,83	4,82	5,00
605/346	193363	19865	64,80	65,67	65,61	66,83
605/431	193094	14915	5,29	6,83	6,70	8,15
605/78	195700	15850	2,19	5,60	5,45	8,60
606/1043	206700	15450	9,85	13,39	12,93	16,73
606/1044	207200	17005	9,45	24,90	22,92	38,32
606/1045	208400	18650	48,87	54,04	53,75	63,62
606/1049	205850	19200	18,10	58,43	62,51	84,42
606/1101	204150	12950	10,22	13,06	12,99	15,52
606/217	205150	12300	8,46	11,44	11,32	14,11
606/971	201300	15900	9,14	11,80	11,51	14,72
606/979	200950	18550	13,94	29,81	28,34	55,30
607/390	225800	17200	175,77	187,01	188,60	202,51

## ANEXO II

**Quadro IIa.** Valores médios de precipitação das estações meteorológicas (período 1985-1995), (SNIRH, 2013).

Estação	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Média (mm/ano)
31H/02C	185336	19240	626
31J/04UG	219768	13963	731
31I/01UG	211375	20009	774
30H/05UG	193285	22374	690
31G/02UG	176809	18498	577
31K/02UG	227981	10327	730
30I/03UG	207498	31032	858
31K/01UG	230952	20376	809
30H/03UG	187338	31084	711
31J/01C	221010	21895	945
Sobreira	206402,00	37083,00	924

**Quadro IIb.** Valores médios de precipitação das estações meteorológicas (período 2003-2012), (SNIRH, 2013).

Estação	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Média (mm/ano)
31H/02C	185336	19240	500
31J/04UG	219768	13963	470
31I/01UG	211375	20009	519
30H/05UG	193285	22374	385
31G/02UG	176809	18498	376
31K/02UG	227981	10327	395
30I/03UG	207498	31032	588
30H/03UG	187338	31084	566
31J/01C	221010	21895	649
Sobreira	206402	37083	687

## ANEXO III

**Quadro IIIa.** Constituição das Formações Geológicas da BHRQ.

Formação	Constituição
Grés de Silves	Conglomerados, arenitos, siltitos, argilitos, margas, finos leitos dolomíticos e dolomitos em bancadas espessas
Picavessa	Dolomitos cálcicos rosados ou brancos, sacaróides, calcarenitos oolíticos brancos e calcários compactos
Arenito do Sobral	A formação Arenitos do Sobral é constituída essencialmente por conglomerados, arenitos e argilitos de cor avermelhada ou violácea
Formação de Mira	Constituída por grauvaques
Margas do Telheiro	É constituída por margas acinzentadas com pequenos leitos de calcários
Margas de Peral	Calcários margosos, margas calcários com nódulos siliciosos e conglomerados
Calcários e dolomitos de Escarpão	Calcários compactos e dolomitos
Arenitos de Troto	Conglomerados, arenitos e argilitos vermelhos e violáceos
Margas e calcários de S. João da Venda	Constituição margosa
Calcários com nódulos de sílex da Jordana	São compactos e um pouco argilosos
Calcários do Cerro da Cabeça	Calcários compactos
Santa Bárbara de Nexe	Dolomitos e calcários
Complexo Vulcano-Sedimentar	Margas, brechas e tufos vulcânicos com escoadas intercaladas

**Quadro IIIb.** Formações Geológicas (Adaptado da Carta Geológica).

Formação	Unidade
a	Aluviões
QA	Dunas consolidadas, Terraços e Tufo calcários, Areias de Faro-Quarteira; Brecha de Goldra
MC	Formação de Cacela, Conglomerados de Galvanas, Espongilitos de Mem Moniz, Siltitos glauconíticos
C1BOC	Parte superior do Cretácico inferior do Algarve Ocidental: Calcários e arenitos com Palorbitolina; Margo-calcários de Porto de Mós; Margas de Luz
C1AOC	Parte inferior do Cretácico inferior do Algarve Ocidental: Arenito de Sobral; Calcário com Trocholina; Margo-calcários com fácies purbequiana; Calcários com Chofatella pyrenaica; Margas com Chofatella decipiens
C1AOR	Parte inferior do Cretácico inferior do Algarve Oriental: Calcários com Trocholina; Argilas e gres de facies wealdiana; Dolomitos de C.Longa e Calcários de Bias
J3E	Calcários do Jurássico superior do Algarve Oriental: Calcários de Escarpão; Calcários com Anchispirocyclina. lusitanica
J3C	Jurássico superior do Algarve Oriental: Dolomias e calcários de Nexe e Cabeça. Calcários com nódulos de sílex de Jordana
J3P	Calcários e margas de Peral e Loulé
J2	Jurássico médio do Algarve: Margo-calários da praia da Mareta; Margo-calcários de Telheiro; Calcários e margas de Praia da Mareta com Zoophycos: Calcários e dolomitos de Alma; Conglomerados de Odiáxere e Calcários de Vale de Lama; Calcários de Guilhim
J1AD	Jurássico inferior do Algarve: Dolomitos e calcários dolomíticos de Picavessa; Dolomitos de Boavista
J1D	Fácies com Paleodasycladus
J1VAL	Complexo Vulcano-Sedimentar
TJA	Triássico do Algarve: Pelitos com evaporitos e intercalações carbonatadas; Gres de Silves s.s.; Argilas de S. Bartolomeu de Messines
HMI	Formação de Mira: turbiditos

## ANEXO IV

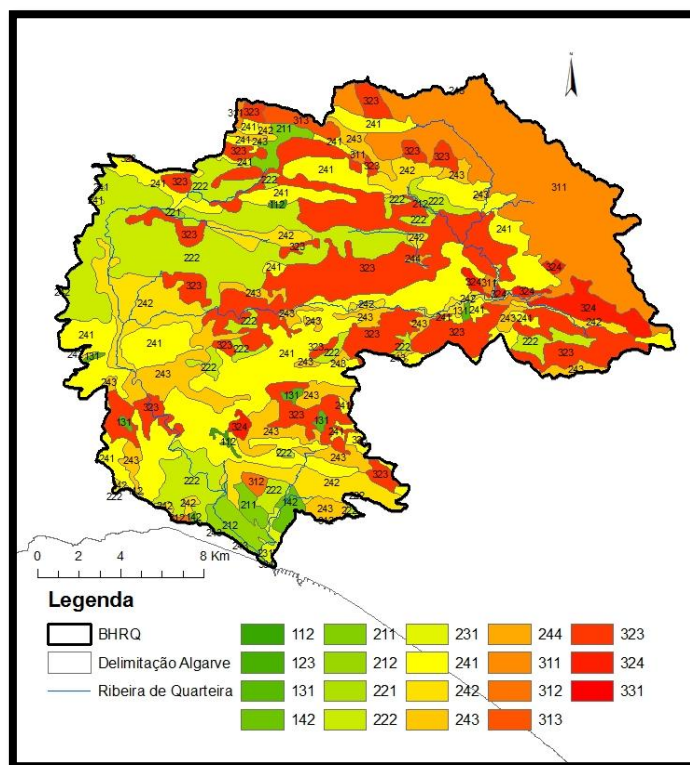


Figura IVa. Mapa Corine Land Cover 1990 para a BHRQ.

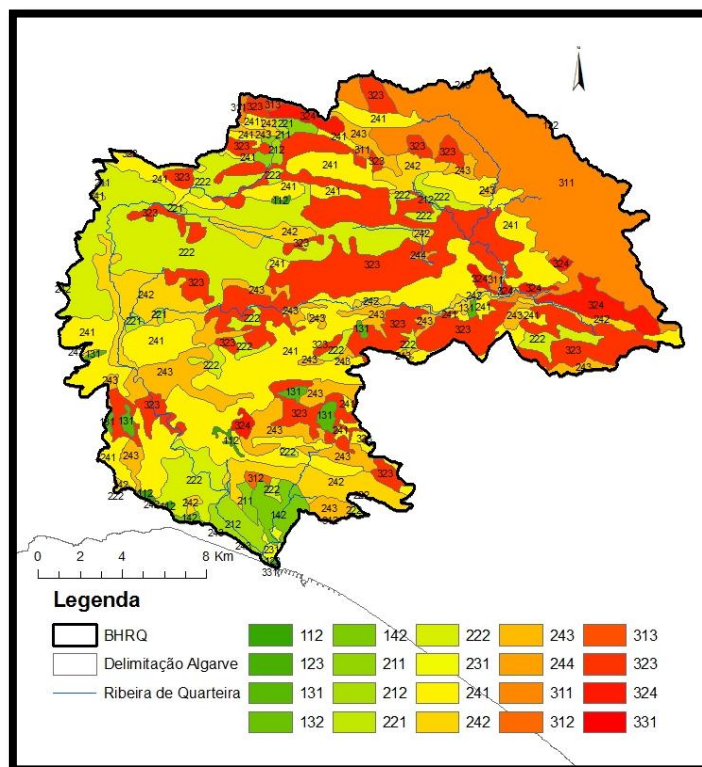


Figura IVb. Mapa Corine Land Cover 2000 para a BHRQ.

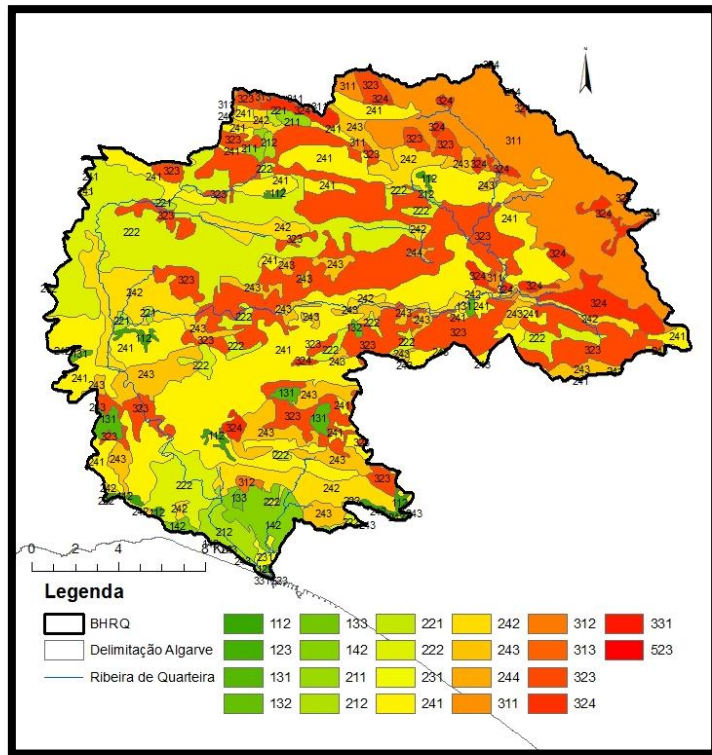


Figura IVc. Mapa Corine Land Cover 2006 para a BHRQ.

## ANEXO V

**Tabela Va.** Concentrações média e máxima de nitratos (mg/l) para o período 1985-1995.

Estação	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Média (mg/l)	Máximo (mg/l)
584/2	140850	39120	3	4
587/21	196600	30300	4	4
587/24	196845	30284	3	5
590/36	239600	31150	3	6
595/171	178150	25130	26	53
595/197	170600	22480	9	13
595/209	182150	25550	20	22
595/287	179300	27000	14	21
595/96	179250	22250	27	29
596/143	186150	27170	12	16
596/275	194850	25150	9	10
596/604	192400	21100	64	75
596/605	196600	20150	21	34
597/109	209250	26950	72	97
597/113	215069	23890	2	2
597/91	204200	24300	4	4
605/199	195210	14340	34	45
605/282	199780	16970	50	50
605/293	193850	16910	6	6
605/322	193470	19460	13	17
605/48	192640	14650	23	23
606/1116	207183	18580	34	34
606/130	203500	12290	20	21
606/972	202251	15450	23	24

**Tabela Vb.** Concentrações média e máxima de nitratos (mg/l) para o período 2003-2012.

Estação	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Média (mg/l)	Máximo (mg/l)
606/1116	207183	18580	20	24
597/109	209250	26950	87	200
606/1045	208400	18650	21	30
606/972	202251	15450	21	25
595/171	178150	25130	36	89
595/193	170300	21900	21	23
588/7	206300	30350	9	24
595/287	179300	27000	5	11
605/322	193470	19460	25	75
598/134	225200	21550	2	2
596/808	191460	20570	42	57

595/209	182150	25550	23	28
590/36	239600	31150	2	10
597/91	204200	24300	13	27
608/463	243150	17550	6	8
587/24	196845	30284	4	5
605/48	192640	14650	22	32
596/332	185420	24800	31	41
597/87	208100	24350	2	3
596/278	194950	25650	10	16
596/274	194600	25150	9	10
596/275	194850	25150	11	14
596/322	195150	25450	10	10
596/279	193600	26400	9	16
595/1034	179870	24870	18	19
595/1035	179700	24550	16	17
595/1040	179390	24790	19	20
595/1051	179790	23450	19	20
595/1052	179750	23190	25	27
597/112	210986	27051	2	2
597/113	215069	23890	2	5
596/263	193267	22415	12	14
596/330	189150	28500	18	30
595/1011	173000	23650	28	33
595/362	179250	22120	26	33
605/307	198150	13560	17	25
584/2	140850	39120	7	30
595/97	180140	22420	34	41
596/143	186150	27170	10	16
605/282	199780	16970	61	64
605/199	195210	14340	40	42
595/95	178910	22150	29	38
587/21	196600	30300	4	6
606/130	203500	12290	27	30
595/96	179250	22250	31	42
596/188	185420	23200	23	27
595/301	180391	23249	27	31
595/303	179478	23791	19	20
595/305	179732	25165	20	22
595/306	179232	24621	20	24
605/293	193850	16910	9	19

**Tabela Vc.** Concentrações médias e máximas de nitratos (mg/l) para o ano de 2012.

Estação	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Média (mg/l)	Máximo (mg/l)
606/130	203500	12290	25	26
605/307	198150	13560	17	17
596/263	193267	22415	12	12
597/113	215069	23890	1	2
597/87	208100	24350	2	2
605/48	192640	14650	22	24
597/109	209250	26950	84	90
606/972	202251	15450	21	22
606/1045	208400	18650	30	30
596/808	191460	20570	32	35
597/91	204200	24300	13	13
608/463	243150	17550	5	5

## ANEXO VI

**Quadro VIa.** Valor de condutividade (uS/cm) para o período de 2003 a 2004 (SNIRH, 2013).

Data	587/21	588/7	596/263	596/275	596/808	597/109	597/113	597/87	597/91	605/282	605/293	605/322	606/972
Abr-03	-	-	-	-	-	-	-	-	823,25	-	-	-	-
Abr-03	-	-	-	-	-	-	-	757,39	-	1978,00	-	-	1593,00
Mai-03	-	-	-	-	-	1100,93	769,00	-	-	-	-	-	-
Mai-03	-	-	-	614,99	869,00	-	-	-	-	-	418,00	750,00	-
Mai-03	535,78	694,00	709,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Out-03	-	-	725,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Out-03	632,79	721,79	-	-	-	-	674,62	-	-	-	-	-	-
Out-03	-	-	-	-	-	-	-	-	756,50	-	-	-	-
Out-03	-	-	-	-	-	436,99	-	590,96	-	-	-	-	-
Abr-04	-	659,49	742,26	-	-	-	695,98	-	-	-	-	-	-
Mai-04	-	-	-	-	-	-	-	-	759,17	-	-	-	-
Mai-04	-	-	-	-	-	-	-	599,86	-	1806,70	-	-	1486,30
Mai-04	-	-	-	-	988,79	949,63	-	-	-	-	496,62	784,09	-
Mai-04	592,74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Out-04	-	-	-	-	-	-	-	-	796,87	-	-	-	734,00
Nov-04	-	-	-	696,47	-	-	-	633,15	-	-	223,00	-	-
Nov-04	623,20	710,94	751,64	-	1018,00	-	705,51	-	-	-	-	847,00	-
Nov-04	-	-	-	-	-	1113,44	-	-	-	-	-	-	-

## ANEXO VII

**Tabela VIIa.** Concentrações média e máxima de cloreto (mg/l) para o período 1985-1995.

<b>Estação</b>	<b>Coordenada X (m)</b>	<b>Coordenada Y (m)</b>	<b>Média (mg/l)</b>	<b>Máximo (mg/l)</b>
587/21	196600	30300	27	27
587/24	196845	30284	33	64
595/209	182150	25550	48	50
596/143	186150	27170	59	66
596/275	194850	25150	82	106
596/604	192400	21100	144	160
596/605	196600	20150	112	115
597/109	209250	26950	75	85
597/113	215069	23890	21	21
605/199	195210	14340	85	89
605/282	199780	16970	883	883
605/293	193850	16910	840	1.240
605/322	193470	19460	44	46
605/48	192640	14650	365	418
606/1116	207183	18580	85	85
606/130	203500	12290	402	443
606/972	202251	15450	432	452

**Tabela VIIb.** Concentrações média e máxima de cloreto (mg/l) para o período 2003-2012.

<b>Estação</b>	<b>Coordenada X(m)</b>	<b>Coordenada Y(m)</b>	<b>Média (mg/l)</b>	<b>Máximo (mg/l)</b>
587/21	196600	30300	19	22
587/24	196845	30284	21	26
588/7	206300	30350	19	21
595/209	182150	25550	49	51
596/143	186150	27170	54	60
596/188	185420	23200	72	76
596/263	193267	22415	58	61
596/275	194850	25150	55	64
596/279	193600	26400	60	64
596/322	195150	25450	50	50
596/330	189150	28500	50	105
596/332	185420	24800	101	108
596/808	191460	20570	81	120
597/109	209250	26950	78	110
597/112	210986	27051	37	37
597/113	215069	23890	24	30
597/87	208100	24350	33	69
598/134	225200	21550	21	25
605/199	195210	14340	115	119
605/282	199780	16970	37	408
605/293	193850	16910	107	156
605/307	198150	13560	36	470
605/322	193470	19460	40	50
605/48	192640	14650	173	289
606/1045	208400	18650	60	67
606/1116	207183	18580	87	287
606/130	203500	12290	45	486
606/972	202251	15450	29	352

**Tabela VIIc.** Concentrações média e máxima de cloreto (mg/l) para o ano de 2012.

<b>Código</b>	<b>Coordenada X (m)</b>	<b>Coordenada Y (m)</b>	<b>Média (mg/l)</b>	<b>Máximo (mg/l)</b>
587/24	196845	30284	23	25
588/7	206300	30350	19	19
595/209	182150	25550	50	50
596/263	193267	22415	56	56
596/808	191460	20570	76	76
597/109	209250	26950	95	110
597/113	215069	23890	26	27
597/87	208100	24350	35	35
598/134	225200	21550	22	22
605/307	198150	13560	400	400
605/48	192640	14650	185	190
606/1045	208400	18650	67	67
606/130	203500	12290	460	480
606/972	202251	15450	295	300

## ANEXO VIII

**Tabela VIIIa.** Concentração de nitrato (mg/l) de Dezembro de 1992 a Novembro de 2012 (SNIRH, 2013).

Data	595/171	595/287	595/96	596/332	596/605	596/808	597/109	605/282	605/322	605/48	606/972
Dez-92	23										
Dez-92		20									
Mar-93	19	11	29								
Abr-93							55				
Jun-93	23	11	28								
Set-93	18	17	28								
Jan-94		13	28								
Mai-95	20	21	26								
Mai-95					7				17	22	
Jun-95								50			23
Jun-95							63				
Nov-95	53	2	22								
Dez-95							97				
Dez-95					34				8	23	24
Mai-96							40	90			
Mai-96	2	24	34		64				3	23	26
Nov-96	31	23	30								
Nov-96											26
Nov-96					32				26	22	
Nov-96								79			
Fev-97							30				
Abr-97	31	25	32								
Abr-97								81			
Abr-97					40				1	25	
Abr-97							70				
Out-97	24	25	34					70			23
Out-97					16				39	25	
Out-97							40				
Abr-98							75	70			23
Abr-98									3	22	
Abr-98		25	42								
Mai-98					48						
Out-98			33								
Out-98	27	24					39				
Out-98					36				16	24	
Out-98								64			21
Abr-99								64			23
Abr-99	26	22	35								
Abr-99					24		54			24	
Jun-99				23							
Set-99				25							
Out-99	27	23	29								
Out-99											23
Out-99							54	63			
Out-99									38	24	
Nov-99				27							
Mar-00				26							
Abr-00							81	61			
Abr-00	26		33								22
Abr-00									21	28	
Set-00				31							
Out-00		25	24				58				
Out-00								66	53	20	22
Out-00				29							
Dez-00				30							

Data	595/171	595/287	595/96	596/332	596/605	596/808	597/109	605/282	605/322	605/48	606/972
Mar-01				39							
Mai-01							89	74			
Mai-01			38						4	18	
Mai-01	37	24									23
Jun-01				37							
Set-01				32							
Nov-01								55			
Nov-01	34		33								
Nov-01				32							
Nov-01									24	18	23
Nov-01							82				
Abr-02				33							
Mai-02	43		37								
Mai-02		13									
Mai-02								21		26	
Mai-02						30	22		4		
Mai-02											21
Mai-02				33							
Set-02				33							
Nov-02	35										
Nov-02			32								
Nov-02				33			108	70			
Nov-02						86				28	
Dez-02											22
Abr-03								63			22
Mai-03							83				
Mai-03						36			4	1	
Mai-03			25								
Mai-03	39										
Out-03		9	25								
Out-03	52								28		21
Out-03						53				0	
Out-03							0,2	63			
Fev-04			16	19							
Abr-04			25								
Abr-04	89	10									
Mai-04			42	41							
Mai-04								59			22
Mai-04						35	42		24	24	
Ago-04			29								
Set-04		10	27								
Out-04											11
Nov-04										14	
Nov-04						53			41		
Nov-04	28										
Nov-04							56				
Nov-04			27	33							
Mar-05			37	32							
Mai-05	28	9	39								
Mai-05						37	78		55	14	
Mai-05								58			21
Jun-05			36	30							
Jul-05										23	
Set-05			33	31							
Out-05		11	31								
Nov-05						57			75		
Nov-05	27										
Nov-05											21
Nov-05								62			
Nov-05							200				
Dez-05			36	33							





**Tabela VIIIb.** Concentração de cloreto (mg/l) de Dezembro de 1992 a Novembro de 2012 (SNIRH, 2013).

Data	595/171	595/287	595/96	596/332	596/605	596/808	597/109	605/282	605/322	605/48	606/972
Dez-92	53										
Dez-92		44									
Mar-93	51	48	103								
Abr-93							57				
Jun-93	53	46	106								
Set-93	48	44	103								
Jan-94		46	101								
Mai-95	53	44	103								
Mai-95					113				46	312	
Jun-95								883			452
Jun-95							83				
Nov-95	48	44	82								
Dez-95							85				
Dez-95					115				43	418	411
Mai-96							89	479			
Mai-96	55	46	101		241				37	656	397
Nov-96	53	50	96								
Nov-96											447
Nov-96					101				46	503	
Nov-96								433			
Fev-97							78				
Abr-97	62	53	106								
Abr-97								418			
Abr-97					117				43	206	
Abr-97							92				
Out-97	55	51	110					452			425
Out-97					117				48	284	
Out-97							82				
Abr-98							85	417			390
Abr-98									39	479	
Abr-98		51	124								
Mai-98					113						
Out-98			106								
Out-98	46	46					60				
Out-98					106				39	274	
Out-98								434			363
Abr-99								460			333
Abr-99	46	43	110								
Abr-99					99		71			257	
Jun-99				108							
Set-99				112							
Out-99	48	44	93								
Out-99											318
Out-99							73	480			
Out-99									40	440	
Nov-99				61							
Mar-00				106							
Abr-00							102	511			
Abr-00	49		109								334
Abr-00									42	250	
Set-00				101							
Out-00		43	77				72				
Out-00								442	45	462	332
Out-00				95							
Dez-00				99							

Data	595/171	595/287	595/96	596/332	596/605	596/808	597/109	605/282	605/322	605/48	606/972
Mar-01				105							
Mai-01							82	452			
Mai-01			117						39	273	
Mai-01	50	43									316
Jun-01				103							
Set-01				97							
Nov-01								160			
Nov-01	47		110								
Nov-01				97							
Nov-01									36	250	325
Nov-01							75				
Abr-02				99							
Mai-02	53		110								
Mai-02		32									
Mai-02								120		182	
Mai-02						74	33		35		
Mai-02											297
Mai-02				100							
Set-02				99							
Nov-02	49										
Nov-02			89								
Nov-02				97			78	385			
Nov-02						78				185	
Dez-02											328
Abr-03								365			352
Mai-03							75				
Mai-03						80			36	35	
Mai-03			79								
Mai-03	50										
Out-03		37	80								
Out-03	49								43		292
Out-03						71				19	
Out-03							23	382			
Fev-04			120	100							
Abr-04			78								
Abr-04	48	41									
Mai-04			120	100							
Mai-04								390			298
Mai-04						78	55		39	191	
Ago-04			82								
Set-04		46	83								
Out-04											37
Nov-04										195	
Nov-04						78			39		
Nov-04	44										
Nov-04							64				
Nov-04			82	100							
Mar-05			107	100							
Mai-05	44	51	113								
Mai-05						85	82		45	156	
Mai-05								383			298
Jun-05			110	99							
Jul-05										209	
Set-05			99	103							
Out-05		50	101								
Nov-05						71			50		
Nov-05	42										
Nov-05											294
Nov-05								387			
Nov-05							103				
Dez-05			109	108							





## ANEXO IX

**Tabela IXa.** Níveis piezométricos para o período Janeiro de 1985 a Outubro de 2013 (SNIRH,2013).

Data	596/19	596/24	596/35	596/51
Jan-85	41,59		34,96	15,9
Fev-85				17,97
Mar-85				20,27
Abr-85				20,22
Mai-85	52,59			24
Mai-85			46,64	
Jun-85	52,44			23,47
Jul-85	52,34			
Jul-85				23,49
Jul-85	52,34			
Jul-85				23,48
Ago-85	51,84			22,47
Ago-85	51,42			22,41
Set-85	51,34			21,97
Set-85	51,22			20,95
Out-85	50,79		39,86	21,35
Out-85				21,18
Out-85	47,84			
Out-85	48,62			
Out-85				20,68
Nov-85				20,1
Nov-85				20,52
Nov-85	40,52			
Nov-85			41,64	
Nov-85	40,64			
Dez-85	40,74			21,77
Dez-85				19,86
Jan-86	37,97			
Jan-86				19,82
Jan-86	37,51			
Jan-86				19,74
Jan-86	36,58			
Fev-86	37,69			19,88
Fev-86	42,81			
Fev-86				19,97
Mar-86	45,71			20,52
Mar-86	47,93			21,25
Abr-86	46,04			21,47
Abr-86	49,91			21,8
Mai-86	50,27			22,23

Data	596/19	596/24	596/35	596/51
Jul-00		24,17	37,26	16,45
Jul-00	34,69			
Jul-00	32,74		36,56	
Ago-00				14,87
Set-00		20,79	35,22	8,76
Set-00	30,68			
Out-00			35,14	8,61
Out-00	30,54			
Nov-00	28,74	19,2	33,22	12,27
Dez-00		19,53	34,64	12,52
Dez-00	30,24			
Jan-01				14,21
Jan-01	44,56	23,33	36,22	
Fev-01				17,27
Fev-01	44,77	23,41	36,56	
Mar-01				20,77
Mar-01	51,7	32,95	45,56	
Abr-01	53,04	37,12	49,46	23,47
Mai-01	53,39	38,25	49,98	24,62
Jun-01		38,21	49,94	24,57
Jun-01	52,74			
Jul-01				24,87
Jul-01	52,76	37,31	48,64	
Ago-01		37,03	48,42	24,79
Ago-01	52,59			
Set-01		34,78	46,4	23,02
Out-01		34,33	45,64	21,97
Out-01	50,34			
Nov-01		33,93	45,44	21,87
Nov-01	49,24			
Dez-01	49,19	32,93	43,54	21,57
Jan-02		34,23	45,62	22,37
Jan-02	50,22			
Fev-02	50,69	35,03	46,44	23,97
Mar-02				24,51
Mar-02	51,03	35,49	46,54	
Abr-02		35,98	46,84	
Abr-02	49,44			23,77
Mai-02				23,7
Mai-02	50,64	35,32	46,57	

Mai-86	50,1			
Jun-86				21,47
Jun-86	48,32			
Jun-86				20,67
Jul-86				21,37
Jul-86	44,16			
Ago-86	41,34			21
Ago-86	38,55			19,13
Set-86	37,96			19,6
Set-86				18,83
Set-86	36,3			
Out-86				18,29
Out-86	34,64			
Nov-86				18,44
Nov-86			38,39	18,51
Nov-86				18,08
Nov-86	33,04			
Dez-86	32,96			18,27
Dez-86	32,62			17,85
Jan-87	32,57			17,9
Jan-87	32,16			17,85
Fev-87				18,82
Fev-87	33,74			18,77
Mar-87	38,73			18,97
Mar-87				19,33
Abr-87	41,35			
Abr-87	41,34			19,67
Abr-87				19,67
Mai-87				19,82
Mai-87	36,34			
Jun-87			40,94	
Jun-87				18,87
Jul-87				18,82
Jul-87				18,4
Jul-87	35,72			
Ago-87				18
Ago-87	33,53			17,66
Set-87	33,3			17,63
Set-87	32,69			
Out-87	33,04		36,95	17,57
Nov-87	38,04			
Nov-87				16,93
Nov-87	39,2			
Nov-87	37,11			16,57
Nov-87				17,17

Jun-02				22,97
Jun-02		35,31	45,9	
Jun-02	49,54			
Jul-02				25,05
Jul-02	51,34	35,92	47,01	
Ago-02				24,07
Ago-02	49,54	34,03	45,74	
Out-02				18,97
Out-02	51,24	35,97	44,28	
Out-02				22,07
Nov-02				22,07
Nov-02		32,8	43,98	
Nov-02	48,18			
Nov-02				21,9
Dez-02				22,07
Dez-02	48,39	32,73	42,69	
Jan-03				23,17
Jan-03	50,1			
Jan-03		34,36	45,92	
Fev-03				24,73
Fev-03	50,84	35,63	47,39	
Mar-03				25,79
Mar-03		37,23	48,32	
Mar-03	51,56			
Abr-03				26,72
Abr-03		38,33	49,17	
Abr-03	51,83			
Mai-03	52,1	39,06	49,6	
Mai-03				27,42
Jun-03				27,12
Jun-03	51,74	38,7	49,39	
Jul-03				26,5
Jul-03	51,53	38,08	48,73	
Ago-03				25,32
Ago-03	50,04	36,03	47,34	
Set-03				24,12
Set-03	49,97			
Set-03		35,53	46,6	
Out-03	48,34			22,87
Out-03		35,38	46,44	
Nov-03				22,49
Nov-03	47,6			
Nov-03		33,78	44,82	
Dez-03				22,62
Dez-03		33,88	45,9	

Dez-87	39,58			17,82
Dez-87				19,15
Jan-88	50,72			
Jan-88	51,44			22,18
Jan-88	52,32			
Fev-88	51,49			22,27
Fev-88	54,13			25,89
Mar-88	54,34			26,36
Mar-88			51,14	
Mar-88	54,47			
Abr-88	54,34			26,37
Abr-88	54,43			27,75
Mai-88	54,49			28,02
Jun-88	54,24			
Jun-88				28,09
Jul-88				27,59
Jul-88	53,87			28,12
Ago-88	53,37			
Ago-88				27,59
Set-88	52,95			
Out-88				25,51
Out-88	51,33			
Out-88			49,14	
Nov-88	51,33			24,92
Dez-88	52,72			26,21
Jan-89				27,5
Jan-89	53,22			
Jan-89			50,54	
Fev-89	53,34			27,97
Mar-89				28,62
Mar-89	53,54			
Abr-89	54,14			29,02
Mai-89				29,47
Mai-89	54,34			
Mai-89			51,14	
Jun-89	53,44			29,47
Jul-89	53,14			28,97
Ago-89				28,17
Set-89	51,34			27,07
Out-89	50,24			26,25
Nov-89	49,12			25,72
Nov-89			46,85	
Dez-89				27,97
Dez-89	54,84			
Jan-90	58,14			33,27

Dez-03	48,79			
Jan-04				24,03
Jan-04	49,61			
Jan-04		34,93	46,13	
Fev-04				24,07
Fev-04	49,64	35,31	46,32	
Fev-04				24,82
Mar-04				25,15
Mar-04	49,98			
Mar-04		35,58	46,38	
Abr-04				25,37
Abr-04	49,74	35,35	46,22	
Mai-04				25,07
Mai-04		35,02	45,82	
Mai-04	49,79			
Mai-04				25,25
Jun-04				23,21
Jun-04	49,02	34,05	45,59	
Jun-04				23,42
Jul-04				22,52
Jul-04	47,1			
Jul-04		32,48	43,97	
Jul-04				21,38
Ago-04		28,58	40,89	20,95
Ago-04	46,97			
Ago-04		28,58	40,89	
Ago-04				19,57
Set-04				18,87
Set-04		26,68	39,24	
Set-04				18,12
Out-04				17,33
Out-04		25,03	37,68	
Out-04				16,67
Out-04				16,57
Nov-04		24,43	36,86	
Dez-04				16,25
Dez-04		24,63	35,86	
Dez-04				16,12
Jan-05		24,51	35,53	
Fev-05				15,46
Fev-05		22,01	34,42	
Mar-05				14,74
Mar-05		20,83	34,14	
Abr-05				14,09
Abr-05		19,83	32,59	

Fev-90	59,94			36,42
Mar-90	59,49			37,47
Abr-90	59,34			38,37
Mai-90	59,14			38,82
Jun-90	58,74			38,82
Jun-90			48,04	
Jul-90	58,29			37,87
Jul-90	57,06			36,75
Set-90	56,99			36,62
Out-90	56,14			35,47
Nov-90	55,48			34,81
Dez-90	54,94			33,97
Jan-91	54,72			33,47
Fev-91	54,34			33,17
Mar-91			53,18	
Mar-91	54,04			32,97
Abr-91	54,69			33,69
Mai-91	54,34			33,41
Jun-91	53,34			32,77
Jul-91				31,97
Ago-91				31,67
Set-91	51,74			29,07
Set-91			51,54	
Out-91				27,97
Nov-91	48,24			27,07
Dez-91	45,06			26,3
Jan-92				25,82
Fev-92	44,79			25,17
Mar-92		25,16		
Mar-92	42,14			
Mar-92			51,44	
Mar-92				24,91
Abr-92		24,58		
Abr-92	41,74			24,17
Mai-92	38,69			23,57
Jun-92	37,09			22,47
Jul-92	36,04			21,27
Jul-92		23,53		
Ago-92		23,78		20,47
Set-92	32,34			19,07
Set-92			37,84	
Set-92		22,33		
Out-92	32,24			17,97
Out-92		22,31		
Nov-92	32,09			17,82

Mai-05				13,07
Mai-05		18,51	32,33	
Mai-05				12,09
Jun-05		16,55	30,28	
Jul-05				10,07
Jul-05		14,58	28,82	
Ago-05				9,89
Ago-05		12,33	26,61	
Set-05				6,97
Set-05		11,25	25,39	
Out-05				6,02
Out-05	(<) 20,34			
Out-05		10,02	23,31	
Out-05				6,25
Nov-05			22,76	
Dez-05				7,71
Dez-05	(<) 20,34	12,17	25,13	
Jan-06		(<) 1,53	25,14	8,57
Jan-06	(<) 20,34			
Jan-06				9,84
Fev-06	36,51			
Fev-06		16,33	30,36	
Mar-06				11,67
Mar-06		18,7	32,49	
Mar-06	43,04			
Abr-06	46,92	22,83	36,84	
Abr-06				14,34
Jun-06				16,31
Jun-06	48,92			
Jun-06		31,06	39,06	
Jul-06	44,64	(<) 1,53	36,62	
Ago-06		(<) 1,53	37,6	
Set-06				13,67
Set-06	32,86		36,31	
Out-06				13,69
Out-06	32,43	(<) 1,53	35,24	
Out-06				13,27
Nov-06	38,06	(<) 1,53	34,94	
Dez-06				15,47
Dez-06	47,03	(<) 1,53	35,22	
Jan-07				18,55
Jan-07	49,43	(<) 1,53	40,55	
Jan-07	49,43			
Fev-07	50,48	(<) 1,53	41,72	19,44
Fev-07	50,48			

Nov-92		21,67		
Dez-92	30,04			17,37
Dez-92		21,53		
Jan-93				17,47
Jan-93		21,03		
Fev-93				17,55
Mar-93	32,34			17,47
Mar-93			36,09	
Abr-93				17,68
Abr-93		25,23		
Mai-93				17,48
Mai-93		25,25		
Jun-93	32,74			17,01
Jun-93		24,99		
Jul-93	32,44			16,21
Ago-93	32,09			15,29
Set-93				14,39
Set-93	30,34	26,48	34,74	
Out-93				13,74
Out-93	29,84			
Nov-93	30,19			
Nov-93				13,87
Dez-93				15,2
Dez-93	43,34			
Jan-94				16,16
Jan-94	44,62	24,48		
Fev-94	47,49	25,72		16,87
Mar-94	48,34	26,33		17,47
Mar-94			38,74	
Abr-94				18,37
Abr-94	49,59			
Mai-94				18,47
Mai-94	49,24	27,43		
Jun-94				17,66
Jul-94				16,43
Jul-94	48,22	26,48		
Ago-94				14,49
Ago-94	46,24	23,48		
Set-94			37,54	13,97
Set-94	41,34	20,83		
Out-94	30,84			
Nov-94		19,88		
Dez-94				12,47
Dez-94	31,84	19,53		
Jan-95				12,62

Abr-07	50,55	31,87	42,97	21,27
Abr-07	50,55			
Abr-07				20,97
Mai-07	48,93	31,86	43,08	
Mai-07	50,26			
Jun-07	45,58			
Jun-07				20,43
Jun-07	45,58	(<) 1,53	42,22	
Ago-07				18,03
Ago-07	35,22	(<) 1,53	39,02	
Set-07				17,05
Set-07	33,06	(<) 1,53	37,64	
Out-07				16,07
Out-07	32,34	(<) 1,53	36,06	
Nov-07	31,26	(<) 1,53	34,93	
Nov-07				15,32
Dez-07				15,17
Dez-07	30,29	(<) 1,53	34,16	
Jan-08				15,49
Jan-08	39,04	(<) 1,53	33,76	
Fev-08				15,89
Fev-08	30,34		34,22	
Fev-08	40,41		34,5	
Mar-08				16,09
Abr-08	36,63		35,69	
Abr-08				16,55
Mai-08				17,61
Mai-08	46,8		37,62	
Jun-08				18,42
Jun-08	48,86		39,04	
Jul-08				17,87
Jul-08	42,83		38,84	
Ago-08				17,27
Ago-08	35,58		37,61	
Set-08				16,82
Set-08			36,27	
Set-08				18,69
Out-08	32,64		35,49	
Nov-08				14,3
Dez-08	30,98		34,3	
Jan-09				14,49
Jan-09	29,94		33,56	
Fev-09	42,86		34,45	
Fev-09				15,37
Fev-09				16,32

Jan-95	31,86	19,26		
Fev-95				12,57
Fev-95	27,17	18,81		
Mar-95				12,47
Mar-95		18,53		
Abr-95	26,74	17,68		
Mai-95				11,17
Mai-95	25,39	17,33		
Jun-95				10,9
Jun-95	23,99	15,63		
Jul-95	22,29	15,23		
Ago-95	21,19	14,43		
Out-95				6,97
Nov-95	20,34			
Dez-95	35,21	12,97		
Jan-96				9,68
Jan-96	44,04	18,83		
Jan-96				9,92
Fev-96	51,54	33,23		
Mar-96			51,89	22,31
Mar-96	54,74	39,73		
Abr-96	56,24			
Jun-96	55,84		55,41	
Jul-96			54,14	
Ago-96			53,94	
Set-96	53,97	41,1	51,75	
Set-96				28,02
Out-96	53,52	40,27	51,02	
Nov-96	52,84	39,18	49,89	
Dez-96	52,44	38,53	49,24	
Jan-97	54,84	42,33	53,54	
Fev-97	55,2	44,2	55,53	
Mar-97			55,71	31,17
Abr-97	54,54	44,81	55,18	
Mai-97	54,14	44,23	54,32	
Jun-97	53,56	43,47	53,49	
Jul-97		41,89	52,12	
Ago-97	52,99	40,83	51,24	
Set-97				27,23
Set-97			49,98	
Out-97			48,56	
Nov-97			47,58	
Dez-97	50,84	37,73	48,24	
Jan-98	54,4	41,85	53,06	
Fev-98	55,22		53,43	

Mar-09	45,34		35,78	
Jun-09	34,46		37,76	
Jun-09				15,03
Jul-09	32,74		36,52	
Jul-09				14,72
Ago-09	32,04		36,23	
Set-09				12,95
Set-09	30,28		33,88	
Set-09				11,9
Out-09	28,18		32,72	
Out-09				11,69
Nov-09	26,29		32,26	
Nov-09	26,12		30,98	
Dez-09				11,29
Jan-10				13,52
Jan-10	44,16		35,87	
Jan-10				18,75
Fev-10	49,02		42,69	
Mar-10	53,02		50,96	
Abr-10				26,42
Abr-10	54,08	41,36	53,49	
Abr-10				28,55
Mai-10	54,5	43,23	54,14	
Jun-10	54,43	43,16	53,89	29,02
Jul-10				29,78
Jul-10	54,16	42,69	53,18	
Ago-10				28,79
Ago-10	53,71	41,61	52,08	
Set-10				28,04
Out-10				27,41
Out-10	52,82	39,53	50,02	
Nov-10				26,87
Nov-10	52,34	39,11	49,32	
Dez-10	52,34	39,03	49,36	26,75
Jan-11	52,51	40,93	51,88	27,97
Fev-11	53,77	41,95	52,69	29,21
Mar-11	54,14	42,99	53,39	
Mar-11				30,31
Abr-11				31,34
Abr-11	54,89	44,26	54,92	
Mai-11				31,92
Mai-11	54,8	44,69	55,11	
Jun-11	54,67	44,6		32,11
Jun-11			54,8	
Jul-11				31,39

Mar-98	56,98		58,02	
Mar-98				29,35
Abr-98			57,89	
Mai-98	56,17		56,73	
Jun-98	56,04		56,04	
Jul-98	54,98		54,64	
Ago-98			52,64	
Set-98				30,14
Set-98	53,07		51,99	
Out-98	52,34		50,79	
Nov-98	51,48		49,89	
Dez-98	51,29		49,64	
Jan-99	47,22		49,69	
Fev-99	44,52		46,4	
Mar-99	41,36		45,12	
Mar-99				24,89
Mar-99		34,95		
Abr-99	41,34		44,34	
Mai-99	40,67		44,18	
Jun-99			41,86	
Jul-99		28,96	40,08	17,61
Ago-99		26,69	38,24	15,07
Set-99		24,01	36,04	13,59
Out-99				12,17
Out-99	30,04		34,64	
Nov-99		22,49	33,99	16,02
Nov-99	29,47			
Dez-99	29,54	22,43	33,34	15,47
Jan-00		21,68	33,22	15,63
Jan-00	28,11			
Fev-00				15,67
Fev-00	27,34	21,43	33,04	
Mar-00		20,99	32,97	15,27
Mar-00	27,39			
Abr-00				14,77
Abr-00			32,64	
Mai-00	36,34	21,68	33,68	15,57
Jun-00		24,13	36,44	17,07

Jul-11	54,19	43,79	54,82	
Ago-11				30,55
Ago-11	53,48	42,35	52,49	
Set-11	53,19	41,93	51,9	29,5
Nov-11				27,47
Fev-12	51,34	37,91	48,36	
Mar-12		36,68	47,16	25,35
Abr-12				24,69
Abr-12		35,56	45,88	
Mai-12	43,34	35,13	45,41	24,37
Jun-12				23,71
Jun-12	38,79	32,89	43,36	
Jul-12				22,17
Jul-12		31,49		
Jul-12			41,91	
Ago-12				21,09
Ago-12	35,66	(<) 1,53	40,39	
Set-12				19,27
Set-12	32,91	(<) 1,53		
Set-12			40,29	
Out-12				18,37
Out-12	32,84	(<) 1,53	36,42	
Nov-12				18,19
Nov-12	42,82	(<) 1,53	36,52	
Dez-12	45,48	(<) 1,53	38,14	19,47
Jan-13	47,01	(<) 1,53	40,07	
Jan-13				20,21
Fev-13	50,03	(<) 1,53	41,49	21,07
Mar-13	52,15	32,96	44,89	22,54
Mai-13				24,19
Mai-13	53,34	36,2	47,71	
Jun-13	53,19	35,81		24,34
Jul-13			46,92	
Jul-13	52,54	34,73		
Ago-13			46,06	23,33
Ago-13	51,51	33,87	45,27	22,43
Set-13	48,71	33,45	44,04	21,22

