



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO NO SISTEMA AQUÍFERO ÉVORA-MONTEMOR-CUBA

Joaquim José Vasques Condeça

Dissertação para Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia dos Recursos Hídricos

Orientador Científico

António Alberto Chambel Gonçalves Pedro



176 866

Évora, Abril de 2010

À Lita, à Carolina e ao Guilherme

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO NO
SISTEMA AQUÍFERO ÉVORA-MONTEMOR-CUBA**

RESUMO

O principal objectivo desta dissertação é a aplicação de métodos empíricos para proceder à caracterização da vulnerabilidade à contaminação do Sistema Aquífero de Évora Montemor-Cuba, nomeadamente os índices DRASTIC, de Susceptibilidade (IS), GOD e o método EPPNA.

A aplicação destes índices permitiu concluir que o Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba apresenta a maioria da sua área classificada com um índice de vulnerabilidade à contaminação baixo a moderadamente baixo, enquanto os aquíferos carbonatados apresentam grande parte da sua área classificada com um índice moderadamente alto a alto.

O IS revelou-se uma ferramenta extremamente útil para ter uma visão espacial do território do ponto de vista da sua vulnerabilidade, quando associada aos usos do solo. No entanto, a complexidade dos sistemas naturais é sempre maior do que as simplificações necessárias para se poderem utilizar as ferramentas que permitem calcular estes índices, existindo permanentemente imprecisões associadas a estes cálculos.

Palavras-chave: vulnerabilidade, contaminação, DRASTIC, IS, GOD, EPPNA

**ASSESSMENT OF GROUNDWATER VULNERABILITY TO POLLUTION IN THE
ÉVORA-MONTEMOR-CUBA AQUIFER**

ABSTRACT

The aim of this Project is to apply different methods regarding the assessment of groundwater vulnerability to pollution in the Évora-Montemor-Cuba aquifer, namely the DRASTIC, IS, GOD and EPPNA.

The greater area of the Évora-Montemor-Cuba aquifer has a vulnerability to pollution classified as low or moderate to low, while in the limestones aquifers the biggest area is classified as moderate to high or high.

The IS index is a very useful tool to provide a spatial intuition of the territory, considering its vulnerability, when associated with the land use. However, the natural systems complexity is bigger than the necessary simplifications introduced in order to use these indexes, nevertheless there are permanent inaccuracies related to these results.

Keywords: vulnerability, pollution, DRASTIC, IS, GOD, EPPNA

AGRADECIMENTOS

Durante a elaboração desta dissertação contactei com diversas pessoas que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a execução deste estudo, e às quais eu gostaria de manifestar o meu agradecimento e apreço.

Ao Professor Doutor António Chambei, meu orientador científico, um agradecimento muito especial pelo incentivo, pelo estímulo, pelo apoio e, também, pela paciência que sempre demonstrou. As suas críticas e sugestões foram sem dúvida o motor essencial ao desenvolvimento deste texto. Ao amigo, agradeço o incentivo que sempre me deu na área de hidrogeologia, revelando em mim um gosto pessoal e cada vez maior nesta área, conduzindo-me até à realização deste mestrado.

Ao Eng.º João Nascimento, um agradecimento pela amizade, sugestões e interesse demonstrado neste trabalho.

Aos meus pais, um agradecimento especial por tudo o que me ensinaram e por todos os valores que me transmitiram. Sei que as dificuldades por que passaram quando estava a tirar a minha licenciatura foram grandes, mas nunca desistiram e por isso posso hoje estar a dirigir-vos estas palavras. Para vocês, o meu muito obrigado.

À minha família, querida e amada esposa, filhos lindos e amorosos (Passarocas e Gui), não existem palavras para descrever o meu agradecimento. Vocês têm tido uma paciência e compreensão que em lado algum poderia encontrar. Nunca tiveram uma palavra de desagrado ou de desconforto com a situação, sempre tive o vosso incentivo. Para vocês dedico todo o meu amor.

ÍNDICE DO TEXTO

RESUMO	I
ABSTRACT	III
AGRADECIMENTOS	V
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 - ENQUADRAMENTO.....	1
1.2 – OBJECTIVOS	2
1.3 – METODOLOGIA GERAL.....	2
1.4 – ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	3
CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO	5
2.1 – OBJECTIVOS DO CAPÍTULO	5
2.2 – ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E GEOMORFOLÓGICO	5
2.3 – ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO.....	9
2.3.1 – <i>Cobertura Cenozóica</i>	9
2.3.1.1 – Aluviões	9
2.3.1.2 – Terraços, areias e cascalheiras.....	9
2.3.1.3 – Formação da Marateca	9
2.3.1.4 – Arenitos de Ulme	10
2.3.1.5 – Formação de Esbarrondadoiro	10
2.3.1.6 – Argilas de Tomar	10
2.3.1.7 – Depósitos de Moura, Mourão, Quintos e Campo Maior.....	10
2.3.1.8 – Formação de Vale do Guiso	10
2.3.1.9 – Conglomerados arcóscicos de Cabeço do Infante (Beira Baixa).....	10
2.3.2 – <i>Zona de Ossa Morena (ZOM)</i>	10
2.3.2.1 – Faixa Blastomilonítica.....	11
2.3.2.2 – Sector de Estremoz-Barrancos.....	11
2.3.2.3 – Sector de Montemor-Ficalho.....	11
2.3.2.4 – Maciço de Beja.....	13
2.3.3 – <i>Zona Sul Portuguesa (ZSP)</i>	13
2.3.3.1 – Antiforma do Pulo do Lobo.....	13
2.3.4 – <i>Rochas Magmáticas Intrusivas</i>	14
2.3.4.1 – Rochas Filonianas.....	14

2.3.4.2 – Maciço de Beja.....	14
2.3.4.3 – Maciço de Évora.....	14
2.4 – ENQUADRAMENTO HIDROGEOLÓGICO	17
2.4.1 – <i>Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba</i>	18
2.4.1.1 – Sector de Évora	18
2.4.1.2 – Sector de Montemor-o-Novo	19
2.4.1.3 – Sector de Cuba-São Cristóvão.....	19
2.4.1.4 – Sector do Escoural.....	20
2.4.1.5 – Sector de Vidigueira-Selmes.....	20
2.4.2 – <i>Outros Sistemas Aquíferos</i>	21
2.4.2.1 - Aquífero de Viana-Alvito.....	21
2.4.2.2 – Aquífero de Portel.....	22
2.4.2.3 – Sector Pouco Produtivo das Rochas Ígneas e Metamórficas da Zona de Ossa Morena	22
2.4.2.4 – Sector pouco produtivo das Rochas Metamórficas da Zona Sul Portuguesa	23
2.4.2.5 – Sistema Aquífero da Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda.....	23
2.4.2.6 – Aquífero dos Gabros de Beja	24
CAPÍTULO 3 – VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO DOS AQUÍFEROS – MÉTODOS DE AVALIAÇÃO	25
3.1 – OBJECTIVOS DO CAPÍTULO.....	25
3.2 – VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO – CONSIDERAÇÕES GERAIS	25
3.3 – MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE APLICADOS NA ÁREA EM ESTUDO	28
3.3.1 – <i>Índice de vulnerabilidade DRASTIC</i>	28
3.3.1.1 – D – Profundidade do Topo do Aquífero	30
3.3.1.2 – R – Recarga do Aquífero	32
3.3.1.3 – A – Material do Aquífero	34
3.3.1.4 – S – Tipo de Solo.....	36
3.3.1.5 – T - Topografia.....	38
3.3.1.6 – I – Influência da zona vadosa.....	40
3.3.1.7 – C – Condutividade hidráulica do aquífero	42
3.3.1.8 – Cálculo final do índice de vulnerabilidade DRASTIC.....	44
3.3.2 – <i>Índice de susceptibilidade</i>	49
3.3.2.1 – D, R, A e T.....	50

3.3.2.2 – LU – Ocupação do Solo.....	50
3.3.2.3 – Cálculo final do Índice de susceptibilidade.....	56
3.3.3 – Índice de vulnerabilidade GOD.....	60
3.3.3.1 – G – Tipo de aquífero.....	61
3.3.3.2 – O – Características litológicas.....	61
3.3.3.3 – D – Profundidade Do Topo do Aquífero.....	63
3.3.3.4 – Cálculo final do índice GOD.....	63
3.3.6 – Índice de vulnerabilidade EPPNA.....	65
CAPÍTULO 4 – ANÁLISE COMPARATIVA E AVALIAÇÃO DOS DIFERENTES MÉTODOS UTILIZADOS.....	67
4.1 – OBJECTIVOS DO CAPÍTULO.....	67
4.2 - ANÁLISE COMPARATIVA DOS DIFERENTES MÉTODOS UTILIZADOS.....	67
4.3 – AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	68
CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
5.1 - ENQUADRAMENTO DA METODOLOGIA PROPOSTA.....	73
5.2 - RESULTADOS ALCANÇADOS.....	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Estrutura da dissertação.....	4
Figura 2.1 – Enquadramento geográfico da zona em estudo.....	7
Figura 2.2 – Modelo Digital do Terreno da zona de estudo.....	8
Figura 2.3 – Enquadramento geológico (Adaptado da Carta Geológica de Portugal à escala 1/500 000).	15
Figura 2.4 – Enquadramento hidrogeológico da zona em estudo.....	17
Figura 3.1 – Esquema da metodologia usada para calcular o índice de vulnerabilidade DRASTIC.	30
Figura 3.2 – Distribuição da profundidade do topo do aquífero de acordo com o método DRASTIC...31	
Figura 3.3 – Distribuição da recarga dos diferentes sistemas aquíferos de acordo com índice DRASTIC.	33
Figura 3.4 – Distribuição do material do aquífero de acordo com o índice DRASTIC.....	35
Figura 3.5 – Distribuição do tipo de solo de acordo com o índice DRASTIC.....	37
Figura 3.6 – Distribuição do declive de acordo com o índice DRASTIC.....	39
Figura 3.7 – Distribuição da Influência da zona vadosa de acordo com índice DRASTIC.....	41
Figura 3.8 – Distribuição da condutividade hidráulica de acordo com o índice DRASTIC.....	43
Figura 3.9 – Índice de vulnerabilidade DRASTIC para poluentes em geral.	45
Figura 3.10 – Diagrama da distribuição do índice de vulnerabilidade à contaminação em geral.....	46
Figura 3.11 – Diagrama da distribuição do índice de vulnerabilidade à contaminação por pesticidas.47	
Figura 3.12 – Índice de vulnerabilidade DRASTIC para pesticidas.....	48
Figura 3.13 – Ocupação do solo (LU) de acordo com o <i>Corine Land Cover</i> 2006.	53
Figura 3.14 – Ocupação do solo (LU) tendo em conta a presença dos futuros blocos de rega.	55
Figura 3.15 – Distribuição do índice de susceptibilidade (LU - <i>Corine Land Cover</i> 2006).	58
Figura 3.16 – Distribuição do índice de susceptibilidade (LU - <i>Corine Land Cover</i> 2006) - com blocos de rega.	59
Figura 3.17 – Esquema da metodologia usada para calcular o índice de vulnerabilidade GOD. (Adaptado de Simsek <i>et al.</i> , 2008).....	60
Figura 3.18 – Distribuição das características geológicas de acordo com índice GOD.	62
Figura 3.19 – Índice de vulnerabilidade GOD.	64

Figura 3.20 – Método EPPNA para os aquíferos da zona em estudo.	66
Figura 4.1 – Matriz de correlação entre os métodos DRASTIC, IS, GOD e EPPNA.....	67
Figura 4.2 – Pontos de água inventariados no projecto ERHSA com dados de concentração de nitratos.....	69
Figura 4.3 – Correlação entre a concentração de nitratos (mg/L) e o Índice de Susceptibilidade obtido.	70

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 – Pesos a considerar no cálculo do índice de vulnerabilidade DRASTIC.	29
Tabela 3.2 – Classificação do índice de vulnerabilidade DRASTIC.	29
Tabela 3.3 – Intervalos de profundidade do topo do aquífero e respectivos índices (Aller <i>et al.</i> , 1987).	31
Tabela 3.4 – Intervalos de recarga e respectivos índices (Aller <i>et al.</i> , 1987).	32
Tabela 3.5 – Valores de recarga para os diferentes sistemas aquíferos presentes na área em estudo. (Fonte: ERHSA, 2001; Condeça, 2004; Duque, 2005)	32
Tabela 3.6 – Materiais do aquífero e o respectivo índice (Aller <i>et al.</i> , 1987).....	34
Tabela 3.7 – Tipos de solos e respectivos índices (Aller <i>et al.</i> , 1987).	36
Tabela 3.8 – Classes de declive e respectivos índices (Aller <i>et al.</i> , 1987).	38
Tabela 3.9 – Materiais da zona vadosa e respectivo índice (Aller <i>et al.</i> , 1987).....	40
Tabela 3.10 – Intervalos de valores de condutividade hidráulica e respectivo índice (Aller <i>et al.</i> , 1987).	42
Tabela 3.11 – Valores de condutividade hidráulica e respectivo índice para os diferentes sistemas aquíferos presentes na zona em estudo. (Fonte: ERHSA, 2001; Condeça, 2004; Duque, 2005).....	42
Tabela 3.12 – Distribuição da percentagem do índice de vulnerabilidade DRASTIC.	44
Tabela 3.13 – Classificação do índice de susceptibilidade.	49
Tabela 3.14 – Classificação da ocupação do solo (LU).	51
Tabela 3.15 – Comparação entre a ocupação do solo segundo o Corine Land Cover 2000 e 2006 e a respectiva área ocupada.	52
Tabela 3.16 – Blocos de rega presentes na zona em estudo.	54
Tabela 3.17 – Reclassificação das classes de ocupação do solo (LU) afectadas pela presença dos blocos de rega e a respectiva área ocupada.	54
Tabela 3.18 – Distribuição da percentagem do Índice de Susceptibilidade, sem os blocos de rega.....	56
Tabela 3.19 – Distribuição da percentagem do Índice de Susceptibilidade, com os blocos de rega.....	56
Tabela 3.20 – Índice de vulnerabilidade GOD, de acordo com Foster (1987).	60
Tabela 3.21 - Valores para o parâmetro G, de acordo com Foster (1987).....	61
Tabela 3.22 – Classificação do parâmetro O, de acordo com Foster (1987).	61

Tabela 3.23 – Classificação do parâmetro D, de acordo com Foster (1987) <i>in</i> Artuso <i>et al.</i> (2004).	63
Tabela 3.24 – Distribuição da percentagem do índice de vulnerabilidade GOD.....	63
Tabela 3.25 – Classes de vulnerabilidade segundo o método EPPNA. (Adaptado de Artuso <i>et al.</i> (2004).....	65
Tabela 3.26 – Classes de vulnerabilidade segundo o método EPPNA para os aquíferos da zona em estudo.	65

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 - Enquadramento

A utilização dos recursos hídricos subterrâneos no Alentejo tem assumido, ao longo dos anos, uma importância histórica, imposta pelas suas condições climáticas, tendo-se verificado, nas últimas quatro décadas, com a rápida evolução da tecnologia de perfuração, a construção de captações subterrâneas em tempo cada vez menor, atingindo profundidades progressivamente crescentes. Este facto conduziu a situações de má utilização de sistemas aquíferos, com reflexos negativos na sua produtividade e na qualidade da água captada.

A qualidade natural das águas subterrâneas é determinada pela quantidade e natureza das substâncias que contêm e resulta da interacção da componente geológica (que determina a sua composição química), dos tipos de solos (que determinam a capacidade de transporte do escoamento) e da própria qualidade original da água de precipitação. Todavia, este equilíbrio tem sido afectado, quer por factores externos (acção humana), quer por factores naturais, originando a contaminação das águas subterrâneas.

Neste sentido, as ferramentas de prevenção da poluição e da contaminação das águas subterrâneas adquiriram, nas últimas duas décadas, cada vez mais importância na gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos, não só devido ao aumento da pressão sobre os aquíferos, pela diversificação e extensão geográfica das actividades antrópicas, mas também pelas limitações tecnológicas e aos altos custos que implicam a recuperação dos aquíferos.

Com efeito, e com a finalidade de manter a qualidade química das águas subterrâneas, surgiu um conjunto de ferramentas, de que fazem parte os mapas de vulnerabilidade, os mapas de risco e a delimitação de perímetros de protecção das captações (Gogu e Dassargues, 2000; Hirata e Rebouças, 1999). Os primeiros pretendem definir espacialmente o grau de protecção de um aquífero à poluição de origem natural ou antrópica e os segundos correspondem ao cruzamento dos mapas de vulnerabilidade com o inventário das zonas de poluição potencial das águas subterrâneas, que correspondem a focos de poluição pontual, linear ou difusa relacionados ou não com as actividades antrópicas. Constituem uma poderosa ferramenta de apoio à decisão na definição de zonas de protecção. Por exemplo, um aquífero muito vulnerável apresentará um risco nulo se não existir nenhuma carga poluente. Do mesmo modo, numa zona com actividade agrícola intensa, o perigo de contaminação pode ser baixo se o aquífero se apresenta pouco vulnerável, e as práticas agrícolas poderão não ter de ser restringidas. A terceira ferramenta, os perímetros de protecção das

captações, têm como objectivo delimitar uma área em redor das captações na qual são restringidas parcial ou completamente certos tipos de actividades poluentes.

No caso do Alentejo, vários estudos de qualidade das águas subterrâneas denunciam a contaminação por nitratos, pesticidas, herbicidas e fertilizantes, com origem na poluição difusa de origem agrícola, a que acresce o aumento da agricultura de regadio potenciado pela crescente disponibilização de água superficial proporcionada através de diversos blocos de rega.

Do ponto de vista hidrogeológico, na zona em estudo, existem aquíferos de importância local ou regional (Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba, os aquíferos carbonatados de Viana-Alvito e Portel, o aquífero dos Gabros de Beja), que se destacam num ambiente geral caracterizado por produtividades baixas, e cuja pressão na utilização dos seus recursos tem aumentado exponencialmente nos últimos anos.

É neste contexto que importa avaliar a vulnerabilidade a que está sujeito o Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba, recorrendo, para tal, à elaboração de mapas de vulnerabilidade.

1.2 – Objectivos

O principal objectivo deste trabalho é a aplicação de métodos empíricos para proceder à caracterização da vulnerabilidade à contaminação do Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba.

Especificamente, com este trabalho pretende-se:

- Analisar diversas metodologias para a caracterização da vulnerabilidade à contaminação em aquíferos fissurados;
- Desenvolver esta análise para o Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba;
- Avaliar o impacto do perímetro de rega de Alqueva na vulnerabilidade do aquífero;
- Proceder a uma análise comparativa dos diversos métodos aplicados.

1.3 – Metodologia geral

A metodologia adoptada compreende as seguintes fases:

- Pesquisa bibliográfica, de forma a compilar os diversos métodos utilizados na avaliação da vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos, com particular ênfase nos aquíferos fissurados;
- Aplicação de diferentes metodologias para caracterização da vulnerabilidade à contaminação:

- Inventário/recolha da informação necessária (geologia, tipo de solos, uso do solo, precipitação, declives, recarga do aquífero, profundidade do nível freático, etc.);
 - Tratamento da informação, recorrendo a ferramentas SIG;
 - Análise dos resultados obtidos.
- Avaliação do impacte do perímetro de rega de Alqueva;
 - Análise comparativa dos diversos métodos.

1.4 – Estrutura da dissertação

O presente trabalho é composto por cinco capítulos (Figura 1.1). Após uma introdução inicial, na qual se descrevem os principais objectivos e os pressupostos que levaram ao desenvolvimento deste estudo, apresenta-se, no segundo capítulo, a caracterização geral da zona em estudo, nomeadamente os enquadramentos geográfico, geomorfológico, geológico e hidrogeológico.

O terceiro capítulo será dedicado à determinação da vulnerabilidade à contaminação do Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba, aplicando diferentes metodologias, e à avaliação do impacte do perímetro de rega do Alqueva no sistema aquífero em estudo.

No quarto capítulo será apresentada uma análise comparativa dos diferentes métodos utilizados e proceder-se-á a uma avaliação dos resultados obtidos.

Finalmente, o último capítulo efectua uma apreciação global dos diferentes resultados alcançados.

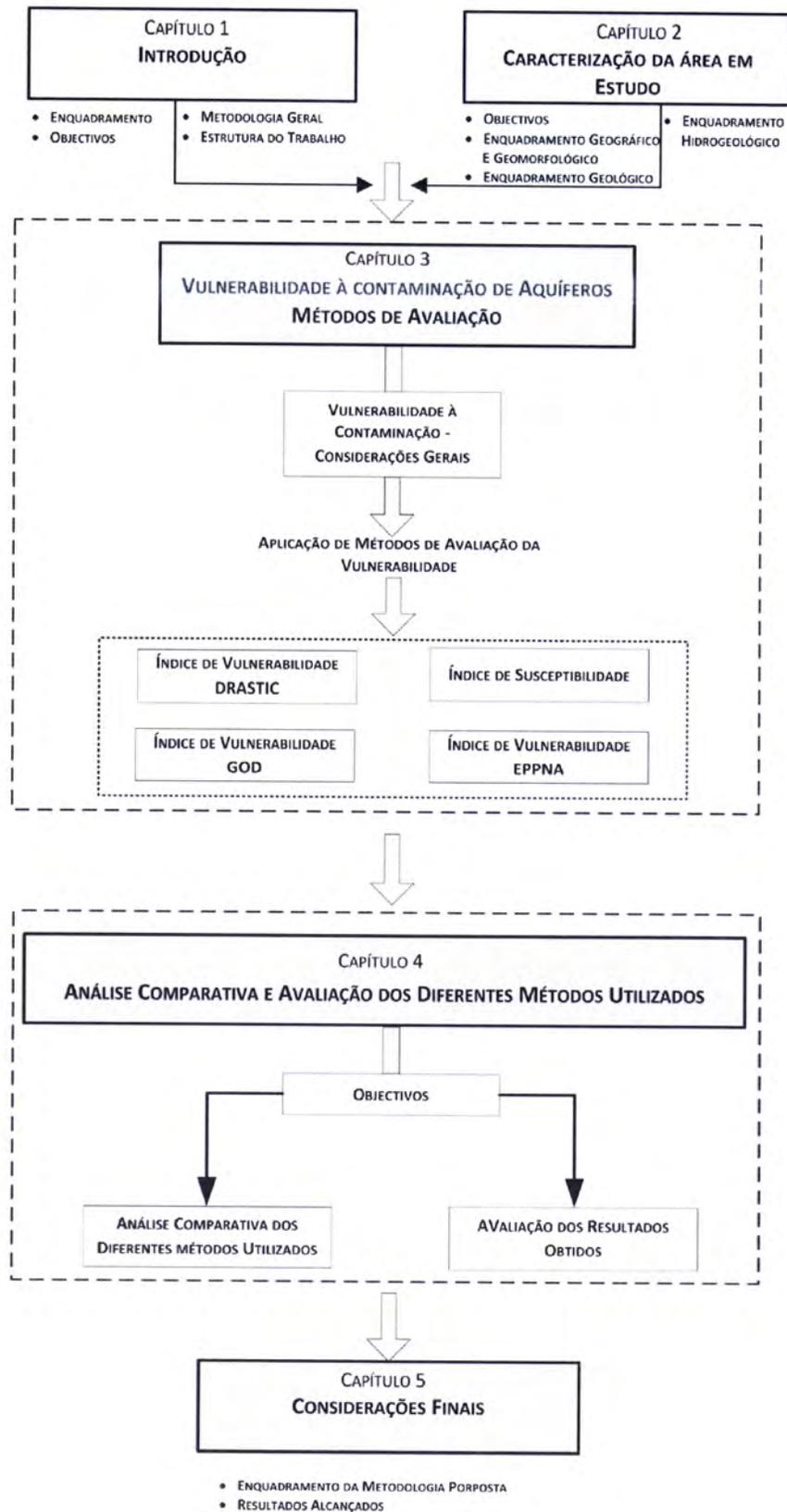


Figura 1.1 – Estrutura da dissertação.

CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

2.1 – Objectivos do capítulo

Este capítulo tem por objectivo efectuar uma caracterização geral da área em estudo, em particular do Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba, do ponto de vista geográfico, geomorfológico, geológico e hidrogeológico.

2.2 – Enquadramento geográfico e geomorfológico

Tal como já foi referido, pretende-se com o desenvolvimento deste trabalho avaliar a vulnerabilidade à contaminação do Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba. No entanto, a área geográfica definida vai um pouco mais além das fronteiras deste sistema aquífero, permitindo, assim, incorporar outras litologias que servirão de comparação com as presentes no sistema em estudo.

O Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba ocorre na área do Alentejo delimitada a N pelos concelhos de Évora e Montemor-o-Novo, a S pelo concelho de Beja, a E pelos concelhos de Portel e Vidigueira e a W pelos concelhos de Cuba, Alvito e Viana do Alentejo (Figura 2.1).

Do ponto de vista geomorfológico a zona em estudo caracteriza-se por apresentar um relevo que oscila entre os 60 e os 440 metros de altitude (Figura 2.2). As áreas mais elevadas correspondem às Serras de Monfurado e de Portel e situam-se na zona N e SE.

No sector de Évora as altitudes são uniformes e variam entre 200 e 250 m, com um decréscimo também uniforme para S. De acordo com ERHSA (2001), apenas na direcção NW-SE sobressaem alguns relevos de dureza que apresentam altitudes da ordem dos 270 m.

O sector de Montemor-o-Novo apresenta duas unidades geomorfológicas (peneplanície alentejana e a serra de Monfurado), com as altitudes mais altas da ordem do 330-370 m, na zona da serra, e 220-330 m na peneplanície.

No que se refere ao sector de Cuba-São Cristóvão, as altitudes são da ordem dos 200 a 250 m, correspondendo as zonas mais elevadas aos contactos com as rochas ígneas e metamórficas e as mais baixas aos contactos com rochas sedimentares.

Por outro lado, no sector do Escoural, as altitudes são da ordem dos 100-120 m na zona E e da ordem dos 350-400 m na zona N (serra de Monfurado).

Quanto ao sector de Vidigueira-Selmes, e de acordo com ERHSA (2001), “a geomorfologia do sector caracteriza-se por uma planície, da qual se erguem alguns relevos residuais e talvez tectónicos”. A

zona mais aplanada apresenta altitudes da ordem dos 150 m e a zona mais elevada (planície de Beja) regista altitudes da ordem dos 200 a 300 m.

Relativamente ao aquífero de Viana-Alvito, as cotas aumentam de W para E em direcção à serra de Portel, desde altitudes que rondam os 100 a 200 m até cotas superiores a 400 m, também verificadas no aquífero de Portel.

Do ponto de vista hidrográfico, a zona em estudo é compreendida por três grandes bacias hidrográficas, Tejo, Sado e Guadiana, nas quais se distribuem as seguintes linhas de água mais importantes (Figura 2.2):

- Bacia hidrográfica do rio Tejo:
 - Ribeira do Divor (escoamento S-N);
 - Rio Almansor e ribeira de Lavre (escoamento SE-NW).
- Bacia hidrográfica do rio Sado:
 - Ribeiras da Marateca, de S. Martinho, da Peramanca e de Odivelas (escoamento E-W);
 - Ribeiras das Alcáçovas, de Valverde e de S. Brissos e Rio Xarrama (escoamento N-S).
- Bacia hidrográfica do rio Guadiana:
 - Rio Degebe (escoamento NW-SE).

Climatologicamente, a área de estudo apresenta características marcadamente mediterrâneas, com Verões quentes e secos e com a estação das chuvas no Inverno. A ocorrência de secas é bastante frequente, sendo também de assinalar a ocorrência de chuvas intensas, particularmente no Outono e no Inverno.

Os valores de precipitação média anual verificados são muito uniformes, sendo os sectores de Montemor-o-Novo e do Escoural os que apresentam valores mais elevados (714 e 740 mm/ano, respectivamente), resultante da presença da Serra de Monfurado no alinhamento NW-SE entre Montemor-o-Novo e Santiago do Escoural.

Os restantes sectores, à excepção do sector de Vidigueira-Selmes (que regista o valor mais baixo de precipitação, 560 mm/ano), os valores de precipitação média anual são da ordem dos 650 mm/ano.

Relativamente à taxa de infiltração eficaz, e de acordo com ERHSA (2001), o Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba apresenta valores da ordem dos 10%.

Os aquíferos de Viana-Alvito e de Portel registam, de acordo com o referido estudo, valores de 15 e 14%, respectivamente.

Nas rochas ígneas e metamórficas envolventes a este sistema aquífero, o valor da infiltração eficaz é inferior e da ordem dos 5%.

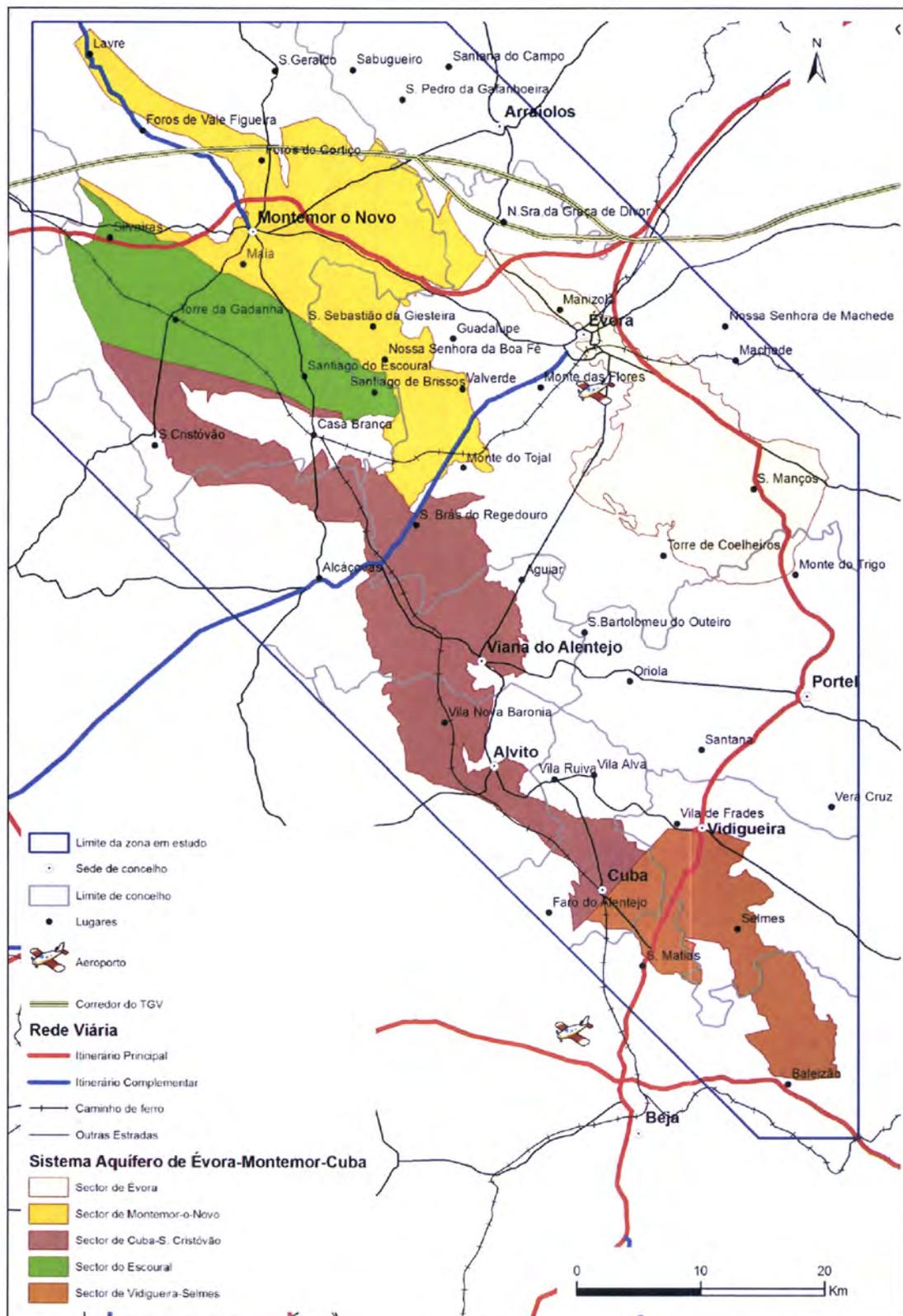


Figura 2.1 – Enquadramento geográfico da zona em estudo.

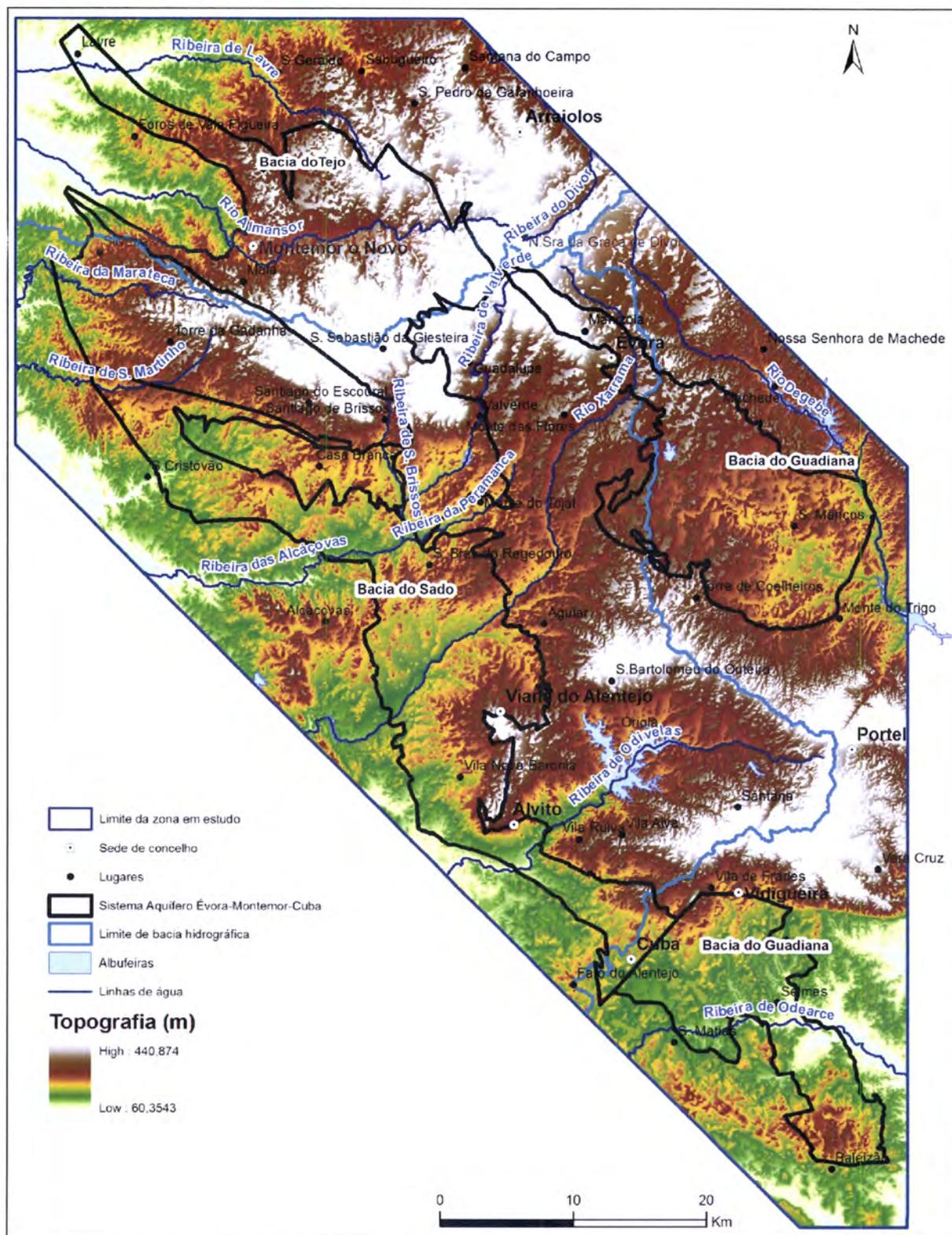


Figura 2.2 – Modelo Digital do Terreno da zona de estudo.

2.3 – Enquadramento geológico

A zona em estudo situa-se parte na Zona de Ossa Morena (ZOM) e parte na Zona Sul Portuguesa (ZSP), encontrando-se o Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba apenas na ZOM.

A ZOM é constituída, segundo ERHSA (2001), “essencialmente por rochas metamórficas (xistos, anfibolitos, etc.) e rochas eruptivas ácidas e básicas (granito, gabros, etc.)”. Para além destas litologias, são de referir outras, como sejam xistos argilosos e grauvaques, calcários, dolomitos e mármore e ainda formações detríticas mais modernas.

Por outro lado, a ZSP encontra-se representada por formações do “Devónico e Carbónico inferior, sendo constituída essencialmente por alternâncias de xistos e metagrauvaques” (ERHSA, 2001).

Uma vez que para a zona em estudo não se encontram ainda disponíveis todas as cartas geológicas à escala 1/50 000, optou-se por utilizar como base de trabalho a carta geológica de Portugal à escala 1/500 000, apresentando-se na Figura 2.3 o enquadramento geológico da zona em estudo e na Figura 2.3a a respectiva legenda.

2.3.1 – Cobertura Cenozóica

Embora surjam em percentagens muito reduzidas na zona em estudo, os terrenos terciários e quaternários presentes subdividem-se nas seguintes litologias:

2.3.1.1 – ALUVIÕES

As aluviões são essencialmente constituídas por areias (mais ou menos argilosas) com calhaus de natureza e grau de rolamento diversos. Estas aluviões ocorrem em apenas 4 km² da zona em estudo e quase sempre associados ao leito das linhas de água.

2.3.1.2 – TERRAÇOS, AREIAS E CASCALHEIRAS

A esta unidade, designada na cartografia geológica 1/500 000 por *Q*, correspondem depósitos detríticos grosseiros caracterizados por intensa ferruginização, granulometria grosseira e heterogénea (ERHSA, 2001). Estes depósitos apenas ocorrem na zona oeste da área em estudo (a S da povoação de Vera Cruz).

2.3.1.3 – FORMAÇÃO DA MARATECA

A formação da Marateca, de idade pliocénica, é constituída por depósitos fluviais que segundo Pimentel (1997) coroam o preenchimento terciário da bacia terminal do Tejo-Sado e da Bacia de Alvalade, e por areias mais ou menos grosseiras, às vezes feldspáticas e argilas montemoriloníticas.

Esta formação localiza-se na zona E da área em estudo e ocupa uma área reduzida (cerca de 10 km²).

2.3.1.4 – ARENITOS DE ULME

Ocupando cerca de 27 km² (zona NW da área em estudo), esta formação é constituída, predominantemente, por areias de granulometria variável, siltosas e/ou silto-argilosas, por vezes feldspáticas e com seixos, e por argilas, por vezes siltosas.

2.3.1.5 – FORMAÇÃO DE ESBARRONDADOIRO

A formação de Esbarrondadoiro é, segundo ERHSA (2001), uma unidade fossilífera, com grande variedade de fácies, predominando argilas finas micáceas e argilas esverdeadas e ocupa na zona em estudo uma área muito reduzida (cerca de 2 km²).

2.3.1.6 – ARGILAS DE TOMAR

Ocupando cerca de 12 km², as argilas de Tomar situam-se na zona NW e encontram-se associadas à Bacia do Sado.

2.3.1.7 – DEPÓSITOS DE MOURA, MOURÃO, QUINTOS E CAMPO MAIOR

De acordo com ERHSA (2001), estes depósitos são fundamentalmente constituídos por argilas, areias, margas e calcários e podem atingir espessuras de cerca de 30 metros.

Estes depósitos desenvolvem-se em áreas adjacentes a acidentes tectónicos, como a falha da Messejana e a falha da Vidigueira.

2.3.1.8 – FORMAÇÃO DE VALE DO GUISO

Segundo ERHSA (2001), “esta unidade constitui a unidade basal das coberturas cenozóicas Alentejanas”. É constituída por areias arcósicas, argilas, arenitos e no topo da formação registam-se também camadas carbonatadas, compostas por arenitos de cimento calcário.

2.3.1.9 – CONGLOMERADOS ARCÓSCICOS DE CABEÇO DO INFANTE (BEIRA BAIXA)

A Formação de Cabeço do Infante pertence ao grupo mais antigo dos sedimentos cenozóicos da Beira Baixa, tradicionalmente designado por Arcoses da Beira Baixa (Grupo da Beira Baixa). Predominam arenitos muito grosseiros e conglomerados, de aspecto maciço e com estruturas sedimentares de tracção.

2.3.2 – Zona de Ossa Morena (ZOM)

A ZOM considera na parte portuguesa as seguintes divisões:

- Faixa Blastomilonítica de Porto-Tomar-Portalegre-Badajoz-Cordova, com orientação NW-SE, situada no bordo setentrional da ZOM próxima da Zona Centro Ibérica (ZCI);
- Sector de Alter do Chão-Elvas, cujo limite Norte coincide com o cavalgamento de Alter do Chão e a Sul com o carreamento da Juromenha;

- Sector de Estremoz-Barrancos, limitado a N por aquele acidente e a S pelo carreamento de Santo Aleixo da Restauração; individualiza-se neste sector o anticlinal de Estremoz e o sinclinal de Terena;
- Sector de Montemor-Ficalho, onde se individualizam o sinclinal de Cabrela, série proterozóica migmatizada e série metamórfica dos anticlinais de Serpa e São Brissos, preservados no maciço de Beja;
- Maciço de Beja, que se dispõe ao longo do limite sudoeste da ZOM, segundo a direcção NW-SE, individualizando-se o subsector de Santa Susana-Odivelas.

Todas estas divisões, à excepção do sector de Alter do Chão-Elvas, se encontram representadas na zona em estudo.

2.3.2.1 – FAIXA BLASTOMILONÍTICA

A faixa blastomilonítica, segundo Oliveira *et al.* (1991), possui uma orientação NW-SE e situa-se no bordo NE da ZOM.

Fazem parte da faixa blastomilonítica a formação de Urra, a formação de Mosteiros, a formação de Morenos e a formação de Campo Maior.

Na zona em estudo, a faixa blastomilonítica encontra-se representada por vulcanitos ácidos pertencentes à formação de Morenos.

2.3.2.2 – SECTOR DE ESTREMOZ-BARRANCOS

O sector de Estremoz-Barrancos encontra-se representado na zona em estudo pelo Complexo Vulcano-Sedimentar Carbonatado de Estremoz e pela formação de Ossa.

O Complexo Vulcano-Sedimentar Carbonatado de Estremoz apenas se encontra representado por vulcanitos básicos, enquanto que da formação de Ossa fazem parte xistos, grauvaques e vulcanitos básicos; estes últimos encontram-se na base desta formação e ocorrem desde a fronteira até à falha da Messejana (perto da povoação de Monte do Trigo), passando por Santo Aleixo da Restauração, Safara e Amieira.

2.3.2.3 – SECTOR DE MONTEMOR-FICALHO

O sector de Montemor-Ficalho é constituído pelas seguintes unidades:

a) Complexo Migmatítico

Ocupa uma vasta faixa desde Montemor-o-Novo e que se prolonga para SE, passando por Évora até São Manços. De acordo com ERHSA (2001), os migmatitos resultaram de um processo de granitização que afectou particularmente os paragnaisse e micaxistos da série negra.

b) Formação do Escoural

Formação que compreende terrenos de natureza xisto-gresosa e que de acordo com ERHSA (2001), se trata de uma sequência “metapelito-psamítica, apresentando, na parte inferior, acentuado desenvolvimento de metavulcanitos félsicos (leptinitos) e, superiormente, abundantes quartzitos negros, além de intercalações subordinadas de metabasaltos”.

c) Formação Dolomítica

Esta formação é constituída, na base, por conglomerados, arcoses e vulcanitos ácidos. Depois do episódio vulcânico e de acordo com Piçarra *et al.* (1992) *in* ERHSA (2001), “sucodem-se calcários dolomíticos com 400 m de espessura, com intercalações siliciosas chérticas e níveis brechóides interpretados como acidentes tectónicos ou preenchimentos cársicos”.

d) Complexo Vulcano-Sedimentar Carbonatado de Moura-Ficalho

Segundo ERHSA (2001), corresponde a uma sequência bimodal depositada em meio marinho, testemunhado pela ocorrência de lavas em almofada observáveis na margem direita do rio Guadiana (na zona da barragem de Alqueva).

É um complexo representado por metavulcanitos ácidos e básicos, aos quais se associam sedimentos carbonatados, localizados na zona entre as povoações de Vila Ruiva e Baleizão.

e) Complexo Vulcano-Sedimentar de Moura-Ficalho (Formação de Xistos de Moura)

Segundo ERHSA (2001), a definição da idade deste complexo tem-se mostrado algo polémica, podendo ser atribuída ao Câmbrio.

Este complexo ocupa grande parte da zona Este da área em estudo e é constituído por filitos e psamitos e por vulcanitos ácidos e básicos.

Para além destas unidades é parte integrante do sector de Montemor-Ficalho o sinclinal de Cabrela, que se situa na extremidade ocidental do maciço de Évora, junto ao contacto entre a ZOM e a ZSP, e que é constituído pelas seguintes formações:

a) Formação de Cabrela

Datada do Devónico Superior, é constituída, na base, por níveis conglomeráticos, aos quais se sucedem xistos muito finos com intercalações calcárias e xistos calcários, a que se seguem alternâncias de xistos e grauvaques finos, com intercalações de vulcanitos félsicos, predominantemente tufos ácidos.

b) Formação de Pedreira da Engenharia

Constituída, na base, por um nível conglomerático com espessura da ordem dos 2 m, a que se sucedem calcários em bancadas centimétricas com intercalações de pelitos cinzentos e negros (ERHSA, 2001).

2.3.2.4 – MACIÇO DE BEJA

Segundo ERHSA (2001), “o Maciço de Beja constitui uma associação de conjuntos plutónicos variados (Gabros de Beja, Gabros e Dioritos de Cuba-Alvito, Pórfiros de Baleizão) e complexos vulcano-sedimentares (Complexo Básico Plutono-Vulcânico de Odivelas, Complexo de Toca da Moura).

a) Formação de Santa Susana

Esta formação assenta sob o Complexo Vulcano-Sedimentar de Toca da Moura e é constituída por uma alternância de conglomerados, arcoses e pelitos, com intercalações de bancadas de carvão.

b) Sequência Vulcano-Detrítica de Toca da Moura

Aflora na região compreendida entre Santa Susana, são Cristóvão e Torrão e é constituída por alternância de basaltos, andesitos, riólitos, diabases e tufos, tendo intercalados níveis de pelitos e siltitos com espessuras métricas a decamétricas (ERHSA, 2001).

2.3.3 – Zona Sul Portuguesa (ZSP)

Segundo Ribeiro *et al.* (1979) in ERHSA (2001), a ZSP é uma das grandes unidades paleogeográficas que se podem diferenciar na Península Ibérica.

Em Portugal, esta zona pode ser subdividida em vários domínios: Antiforma do Pulo do Lobo, Faixa Piritosa, Grupo de Flysch do Baixo Alentejo, Sector de Cercal-Mira e Zona SW de Portugal; na zona em estudo apenas faz parte o Antiforma de Pulo do Lobo.

A transição entre a ZOM e a ZSP dá-se pelo Ofiolito de Beja-Acebuches, entre as zonas de Ferreira do Alentejo e Serpa.

2.3.3.1 – ANTIFORMA DO PULO DO LOBO

Fazem parte deste antiforma as seguintes unidades: formação do Pulo do Lobo, Grupo de Ferreira-Ficalho e Grupo da Chança.

Na área em estudo apenas se encontram as formações de Horta da Torre e de Santa Iria, pertencentes ao Grupo de Ferreira-Ficalho, e a formação do Pulo do Lobo.

a) Formação de Horta da Torre

De acordo com ERHSA (2001), é constituída por alternâncias de xistos negros siliciosos, siltitos com estratificação entrecruzada, quartzovaques e quartzitos impuros e arenitos.

b) Formação de Santa Iria

Constituída por alternância de pelitos, siltitos e grauvaques e turbiditos, representando estes últimos esta formação na zona em estudo.

c) Formação de Pulo do Lobo

Esta formação é representada por filitos com intercalação de bancadas de quartzitos e psamitos.

2.3.4 – Rochas Magmáticas Intrusivas**2.3.4.1 – ROCHAS FILONIANAS**

Surgem na zona em estudo filões de quartzo e de quartzo carbonatado e o grande filão dolerítico do Alentejo, constituído por rochas básicas, nomeadamente, doleritos e gabros doleríticos.

2.3.4.2 – MACIÇO DE BEJA

O Maciço de Beja ou Complexo Ígneo de Beja (CIB) aflora em grande parte da região do Alentejo e encontra-se representado na zona em estudo pelos Gabros de Beja, Dioritos de Casa Branca e Monte Novo, Complexo Gabro-Diorítico de Cuba, granófiros, pórfiros riólitos e riodacitos.

2.3.4.3 – MACIÇO DE ÉVORA

Fazem parte deste maciço rochas magmáticas pré-variscas, como ortognaisses graníticos, e rochas magmáticas variscas, como os dioritos, granitos, granodioritos e os tonalitos.

Importa referir que, os maciços de Beja e de Évora ocupam grande parte da zona em estudo.

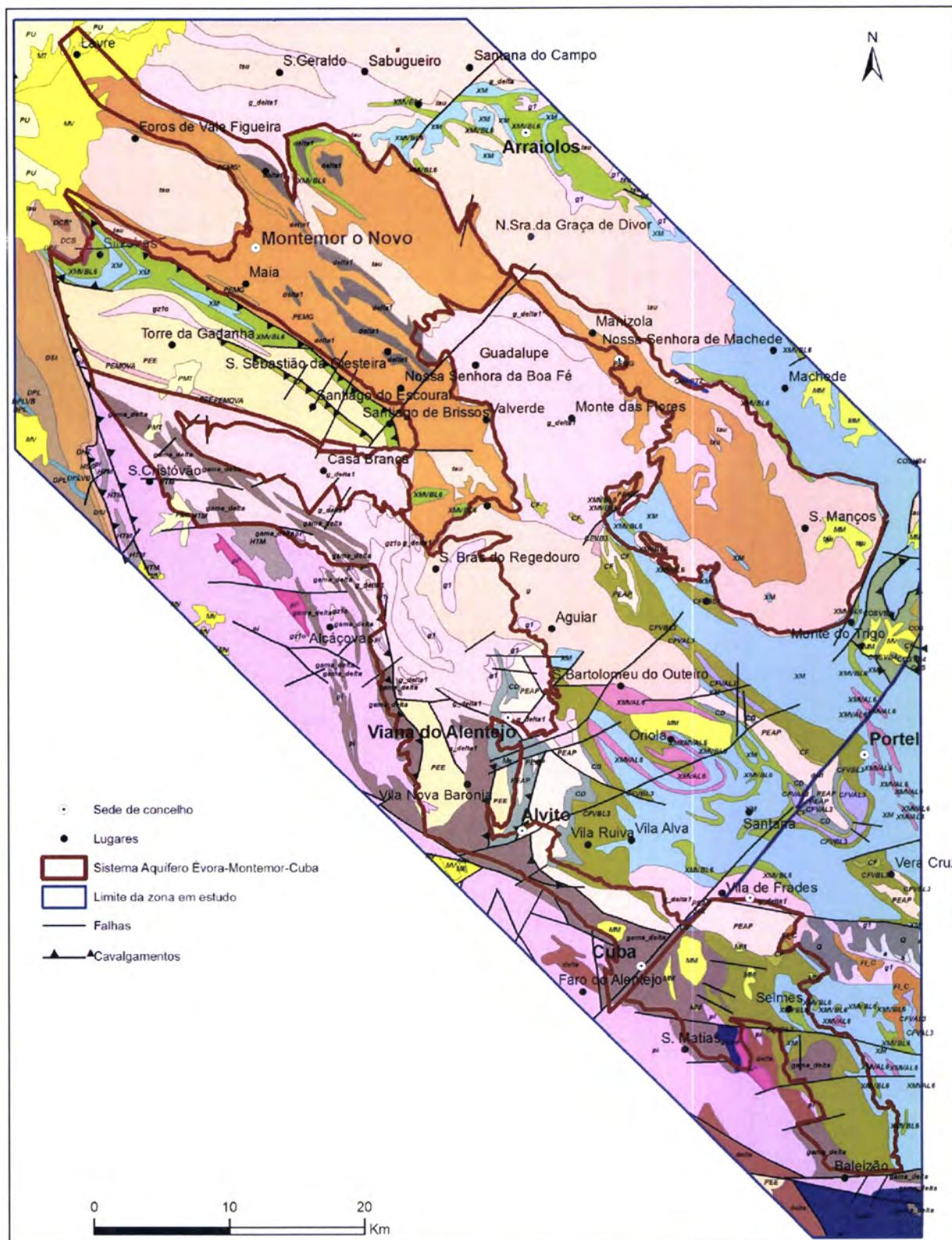


Figura 2.3 – Enquadramento geológico (Adaptado da Carta Geológica de Portugal à escala 1/500 000).



Figura 2.3a– Legenda do enquadramento geológico (Adaptado da Carta Geológica de Portugal à escala 1/500 000).

2.4 – Enquadramento hidrogeológico

A zona em estudo compreende o Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba, representado na Figura 2.4, o qual abrange um conjunto diversificado de litologias com características diferenciadas, mas que apresentam em comum potencialidades de exploração de água subterrânea de algum modo superiores às das litologias envolventes.

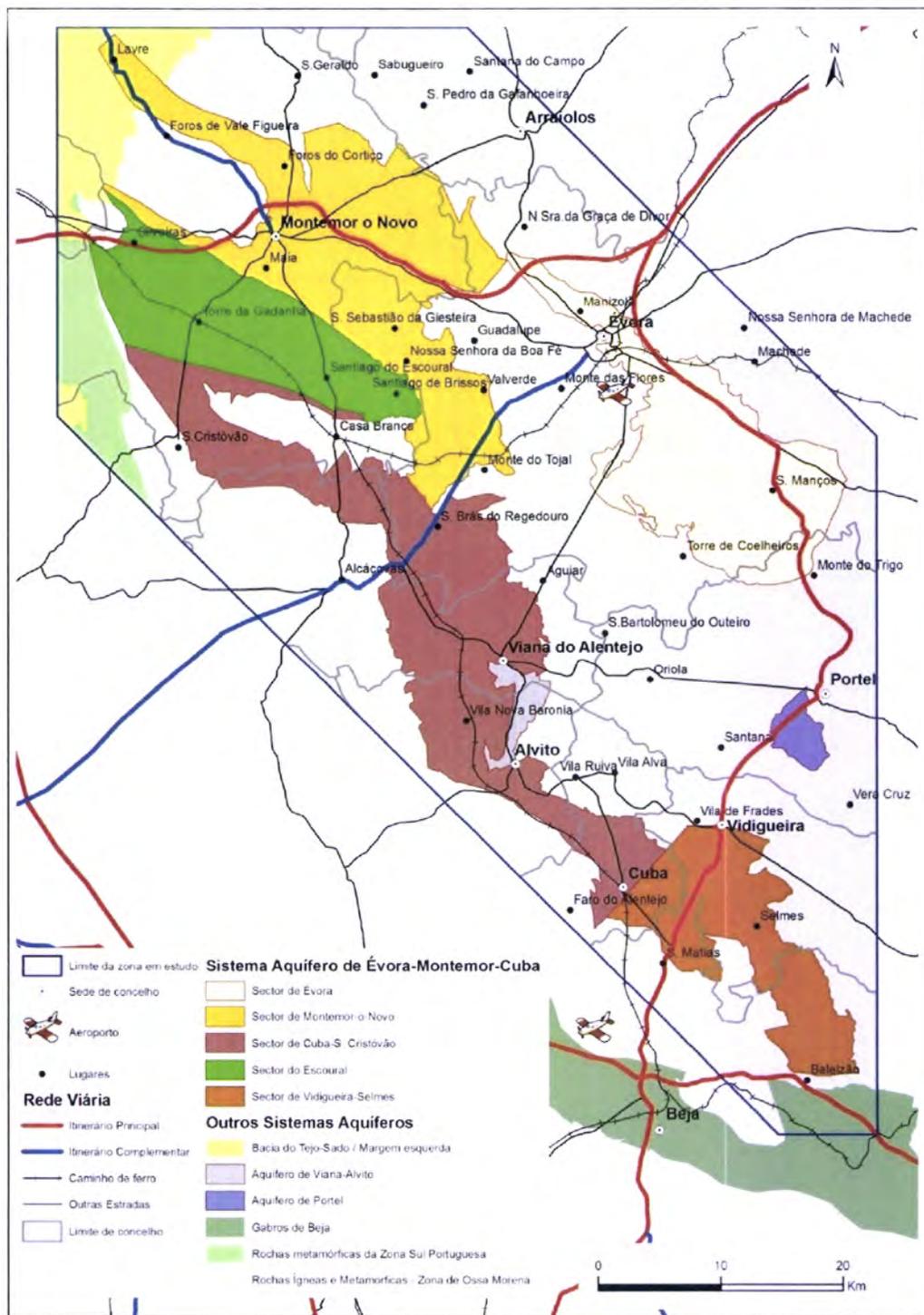


Figura 2.4 – Enquadramento hidrogeológico da zona em estudo.

É um sistema com produtividade média-alta, dentro do cristalino português, e que é constituído pelos sectores de Évora, Montemor-o-Novo, Cuba-S. Cristóvão, Escoural e Vidigueira-Selmes.

Para além deste sistema aquífero fazem também parte da zona em estudo os sistemas aquíferos carbonatados de Viana-Alvito e Portel, os sistemas aquíferos Pouco Produtivos das Rochas Ígneas e Metamórficas da Zona de Ossa Morena e das Rochas Metamórficas da Zona Sul Portuguesa, o Sistema Aquífero da Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda e o Aquífero dos Gabros de Beja.

2.4.1 – Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba

2.4.1.1 – SECTOR DE ÉVORA

O sector de Évora é constituído por gnaisses, migmatitos, granodioritos e quartzodioritos, apresentando os gnaisses e os migmatitos, segundo *Carvalhosa et al. (1969) in ERHSA (2001)*, texturas muito variadas e encontrando-se associados a maciços granitóides de idêntica composição.

Segundo *ERHSA (2001)*, “a envolvente geológica do sector de NE a SE faz-se por rochas do tipo corneanas e micaxistos com potenciais hidrogeológicos muito inferiores à média das potencialidades das litologias do complexo gnaisso-migmatítico”. Por outro lado, de NW a SW, o sistema é envolvido por granodioritos e quartzodioritos associados, com reduzido potencial hidrogeológico devido a uma menor espessura de alteração e quase total ausência de fracturação.

Este sector apresenta, de acordo com *ERHSA (2001)*, um comportamento hidrogeológico distinto de acordo com o grau de fracturação e principalmente com o grau de alteração das rochas. Para estes autores, a espessura de alteração tanto nos gnaisses e migmatitos, como nos granodioritos e quartzodioritos, pode variar entre 6 e 30 m.

Desta forma, pode-se caracterizar o comportamento deste sector pela existência de dois meios com características próprias: blocos porosos e fracturas (*ERHSA, 2001*). Segundo estes autores, “a circulação e armazenamento da água faz-se, fundamentalmente, numa camada superficial alterada, com características de um meio poroso, e numa zona mais alterada e fracturada com características próprias de meio de porosidade dupla”.

Este sector pode atingir uma profundidade que pode ir até aos 40 a 60 m, não se conhecendo actualmente zonas onde essa profundidade seja ultrapassada; geralmente a espessura não ultrapassa os 30 a 40 m.

Os valores de transmissividade variam, de acordo com *Chambel et al. (2006)*, entre 37 a 193 m²/dia, valores muito acima dos apresentados pelos granodioritos e quartzodioritos que envolvem o sector, e que são da ordem de 1 a 10 m²/dia; a produtividade das captações pode atingir valores até

27,8 L/s, com um valor mediano de 3,33 L/s (Chambel *et al.*, 2007), enquanto que nas rochas ígneas e metamórficas envolventes o valor médio aproxima-se de 1 L/s.

A recarga neste sector é, de acordo com ERHSA (2001), de dois tipos:

- Recarga natural, que se faz de N para S e de NW para SE, gerada pela precipitação;
- Recarga artificial, provocada pela infiltração das águas de rega e que são as grandes responsáveis pelos problemas de qualidade.

Tal como já foi referido, a taxa de infiltração eficaz para este sector foi considerada em 10%, pelo que, considerando uma área de recarga de 255 km², o volume anual dos recursos hídricos subterrâneos renováveis será de 16,6 hm³/ano.

2.4.1.2 – SECTOR DE MONTEMOR-O-NOVO

Este sector é constituído essencialmente por migmatitos heterogéneos, gnaisses migmatíticos e alguns granitos biotíticos associados.

De acordo com ERHSA (2001), este sector apresenta uma circulação típica de meios fissurados, caracterizado por um comportamento misto de meios porosos e fissurados na zona alterada e com circulação por fracturas e diáclases, sobre a rocha sã.

O sentido de fluxo depende da topografia da região e é mais acentuado na direcção E-W, coincidente com o rio Almansor.

O potencial hidrogeológico deste sector é muito heterogéneo, entre 1 e 41 L/s, (Chambel *et al.*, 2007), registando-se as maiores produtividades associadas aos tonalitos (a E de Montemor-o-Novo) e ao complexo gnaisso-migmatítico (a SE de Montemor-o-Novo), com os valores medianos da ordem dos 0,99 L/s (Chambel *et al.*, 2007).

Tendo em conta uma taxa de infiltração eficaz de 10%, para uma área de 37 km², os recursos renováveis anuais para este sector são de 26,6 hm³.

2.4.1.3 – SECTOR DE CUBA-SÃO CRISTÓVÃO

O sector de Cuba-São Cristóvão é limitado a SW pelos pórfiros de Baleizão-Alvito do Complexo de Beja; o limite NE é constituído por rochas ígneas (granitóides) e metamórficas (xistos e metavulcanitos), com comportamento geológico e hidrogeológico variável. Este sector apresenta três litótipos distintos: gabrodioritos, ortognaisses graníticos e metavulcanitos félsicos (leptinitos), gnaisses e anfibolitos pertencentes à formação do Escoural.

Este sector caracteriza-se por ser um aquífero livre a semi-confinado, fissurado, com água principalmente nos primeiros 50 a 70 m de espessura. De acordo com ERHSA (2001), tal como se

verifica no sector de Évora, as áreas onde não afloram quaisquer tipo de rochas apresentam geralmente um padrão de alteração e fracturação que permite o aumento claro das potencialidades hidrogeológicas. Para estes autores, as zonas fracturadas, localizadas abaixo da zona alterada, são as mais produtivas, podendo, contudo, encontrar-se alguma água na zona alterada.

Os sentidos de fluxo subterrâneo, à semelhança dos outros sectores do Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba, são extremamente dependentes da topografia. Assim, na região de Cuba, dominada por gabros e dioritos, o sentido é preferencialmente para SE. Já na zona de Alvito, Viana do Alentejo, até às proximidades da povoação de S. Cristóvão, este é para SW.

De acordo com Chambel *et al.* (2007), este sector regista um valor mediano de produtividade da ordem dos 1,11 L/se um valor médio de 2,75 L/s.

Este sector, à semelhança dos restantes, recebe recarga directa através da precipitação (aproximadamente 10%) pelo que, considerando a totalidade da área do aquífero como área de recarga, o volume anual dos recursos hídricos subterrâneos renováveis é de 25 hm³/ano (para uma precipitação média anual de 650 mm).

2.4.1.4 – SECTOR DO ESCOURAL

Este sector é constituído por terrenos de natureza xisto-gresosa, quartzitos negros, metavulcanitos ácidos e básicos, xistos e alguns migmatitos.

Trata-se de um aquífero livre e fissurado, cujos valores de caudal registados são muitas vezes superiores a 3 L/s, e de acordo com ERHSA (2001), principalmente num alinhamento que passa pela Aldeia da Biscaia (Santiago do Escoural) até S de S. Brissos, e que grosseiramente coincide com rochas de carácter anfibólico do Complexo Vulcano-Sedimentar de Moura-Santo Aleixo.

Segundo Chambel *et al.* (2007), o sector do Escoural regista um valor médio de produtividade da ordem de 2,75 L/s com um valor máximo observado de 26,39 L/s.

Observam-se escoamentos subterrâneos com direcções W-SW no sector ocidental e na zona da povoação do Escoural o movimento da água dá-se fundamentalmente para S.

De acordo com a taxa de infiltração eficaz anteriormente referida (10%), ERHSA (2001) aponta uma infiltração anual renovável, para a totalidade da área deste sector, de 14,7 hm³.

2.4.1.5 – SECTOR DE VIDIGUEIRA-SELMES

As litologias presentes neste sector são os vulcanitos básicos, os granodioritos de grão médio a grosseiro, e os dioritos, constituintes do Complexo Gabro-Diorítico de Cuba. Associadas a estas surgem, nas zonas de contacto, rochas resultantes de metamorfismo de contacto (corneanas), que nesta região, correspondem não só a uma série de auréolas que têm um grande desenvolvimento,

como também a outras corneanas encravadas no seio das rochas eruptivas e localizadas nas proximidades das localidades de Vidigueira e Quinta de São Pedro, resultantes do metamorfismo das rochas eruptivas, de composição granodiorítica, com as rochas do complexo cristalofilino (ERHSA, 2001).

Trata-se de um aquífero fissurado e livre e com caudais médios instantâneos que rondam os 2,6 L/s (Chambel *et al.*, 2007). Segundo ERHSA (2001), o sector de Vidigueira-Selmes apresenta pouca espessura de alteração superficial, mas com fracturação suficiente em profundidade para apresentar produtividade algo superior às rochas envolventes.

A direcção de escoamento na parte Norte deste sector é N-S e à medida que se avança para Sul a direcção varia para W-E, na direcção do rio Guadiana.

Tal como já foi referido, é o sector que apresenta a precipitação média anual mais baixa (560 mm/ano), pelo que, considerando a totalidade do aquífero com área de recarga, estima-se uma infiltração anual renovável de 9 hm³/ano.

2.4.2 – Outros Sistemas Aquíferos

2.4.2.1 - AQUÍFERO DE VIANA-ALVITO

Este aquífero apresenta o seu maior desenvolvimento entre os concelhos de Alvito, a sul, e de Viana do Alentejo, a norte e é constituído por formações carbonatadas (calcários, dolomitos e rochas calcossilicatadas) intercaladas por outras unidades, tais como gnaisses félsicos e xistos e quartzitos negros, que localmente poderão funcionar como zonas menos permeáveis. Dadas as características próprias das rochas carbonatadas e às deformações tectónicas que se verificaram na região, aquelas rochas desenvolveram zonas de carsificação e fracturação mais ou menos intensas (ERHSA, 2001).

Trata-se de um aquífero com características mistas de aquífero cársico e fissurado. Este aquífero apresenta-se livre em algumas zonas, mas noutros locais encontra-se confinado, devido à presença de espessa camada de *terra rossa* que o cobre (Almeida *et al.*, 2000). De acordo com estes autores existe uma rede de condutas e fracturas que permitem a conexão hidráulica com formações menos permeáveis.

Estes autores referem ainda que a recarga se faz por infiltração directa onde as formações carbonatadas afloram e onde não estão cobertas por depósitos de *terra rossa*.

De acordo com Chambel *et al.* (2006), este aquífero apresenta valores de produtividade entre 15,6 e 30,3 L/s, com valores de transmissividade entre 2400 e 3960 m²/dia.

Considerando apenas a área do afloramento da formação carbonatada (17,5 km²), uma taxa de infiltração eficaz de 15% e uma precipitação média anual de 655 mm/ano, estima-se uma infiltração anual renovável de 1,7 hm³/ano (Almeida *et. al.*, 2000).

É um aquífero bastante produtivo registando valores de caudal entre 15 e 30 L/s, com transmissividades situadas entre 2400 e 3960 m²/dia (Almeida *et al.*, 2000).

2.4.2.2 – AQUÍFERO DE PORTEL

Este é um aquífero cársico a fissurado, constituído por micaxistos, rochas verdes, quartzitos, calcários e dolomitos, rochas quartzo-feldspáticas, xistos e metagrauvaques.

De acordo com ERHSA (2001), poderão ocorrer zonas de maior permeabilidade por carsificação e fracturação. As rochas quartzo-feldspáticas e os quartzitos e as formações de natureza xistenta apresentam-se, segundo estes autores, bastante fracturadas, desenvolvendo permeabilidade secundária. Por outro lado, as zonas de menor permeabilidade ocorrem em áreas onde se desenvolvem solos de natureza argilosa.

No que se refere aos recursos hídricos subterrâneos renováveis anualmente, pode-se efectuar o seu cálculo tendo em conta duas áreas aflorantes de características distintas (ERHSA, 2001):

- uma área aflorante composta por calcários e dolomitos, de cerca de 5,5 km² e com uma infiltração eficaz da ordem dos 14%, resultando uma recarga anual de 0,5 hm³/ano (considerando uma precipitação média anual de 637,1 mm/ano);
- a restante área (12,4 km²), composta por rochas de natureza xistenta, cujo valor de infiltração eficaz é da ordem dos 4%, resultando uma recarga igual a 0,3 hm³/ano.

Assim, estima-se uma recarga anual renovável para o aquífero de Portel igual 0,8 hm³/ano.

2.4.2.3 – SECTOR POUCO PRODUTIVO DAS ROCHAS ÍGNEAS E METAMÓRFICAS DA ZONA DE OSSA MORENA

Este sistema aquífero engloba grande parte do sector central do Alentejo e compreende rochas metamórficas e ígneas da ZOM, encontrando-se a S dos sectores de produtividade baixa da Zona Centro-Ibérica (ZCI) e a N do sector pouco produtivo das rochas metamórficas da ZSP. A W sobrepõem-se a estas litologias as formações terciárias das bacias do Tejo e do Sado (ERHSA, 2001).

A precipitação média anual em toda a zona pouco produtiva é da ordem dos 627mm/ano, variando a infiltração eficaz entre os 3 e os 7%, considerando ERHSA (2001) uma média de 5% como sendo representativa da área.

De acordo com Chambel *et al.* (2007), este sector apresenta valores médios de produtividade da ordem dos 2,01 L/s e valores medianos de cerca de 1,2 L/s, tendo sido identificados muitos furos improdutivos nesta área.

2.4.2.4 – SECTOR POUCO PRODUTIVO DAS ROCHAS METAMÓRFICAS DA ZONA SUL PORTUGUESA

Segundo ERHSA (2001), “a delimitação desta área como hidrogeologicamente distinta, deve-se essencialmente ao seu enquadramento geológico. Ao considerar a ZSP como uma zona geoestrutural e sendo esta uma variável determinante para a continuidade das características hidrogeológicas, delimitou-se esta área como distinta das envolventes”.

Neste sistema podem-se separar, do ponto de vista geológico, três sectores: Antiforma do Pulo do Lobo (xistos, pelitos e turbiditos), Complexos Vulcano-Sedimentares (xistos, vulcanitos, quartzitos, pelitos, conglomerados e grauvaques) e Grupos Flysch do Baixo Alentejo (grauvaques, pelitos, arenitos e turbiditos).

Segundo Chambel *et al.* (2007), este sector apresenta valores médios de produtividade da ordem dos 2,42 L/s e valores medianos de cerca de 1,49 L/s.

De acordo com ERHSA (2001), a precipitação média neste sistema aquífero é da ordem dos 582 mm/ano, registando-se uma infiltração eficaz de 5%. Assim, e de acordo com estes autores, a disponibilidade hídrica subterrânea anual é de 229,85 hm³.

2.4.2.5 – SISTEMA AQUÍFERO DA BACIA DO TEJO-SADO/MARGEM ESQUERDA

O Sistema Aquífero da Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda, designado por T₃, pertence à unidade Bacia Terciária do Baixo Tejo. Esta, segundo Almeida *et al.* (2000), integra o maior sistema aquífero do território nacional, tendo os seus recursos hídricos subterrâneos constituído um importante factor de desenvolvimento, uma vez que tem assegurado numerosos abastecimentos urbanos, industriais e agrícolas.

De acordo com Esteves Costa (1994), este sistema hidrogeológico corresponde a um sistema complexo onde podem coexistir aquíferos livre, semi-cativos e confinados.

É um sistema constituído superficialmente por areias e argilas do pliocénico, com uma espessura da ordem dos 100 metros, que registam níveis de salinidade elevada, e a um nível mais profundo, por formações miocénicas areno-carbonatadas, que constituem o principal aquífero.

A zona em estudo, situada na zona ocidental da bacia sedimentar do Tejo-Sado, apenas se encontram as formações arenosas deste sistema aquífero, com profundidade e extensões reduzidas.

2.4.2.6 – AQUÍFERO DOS GABROS DE BEJA

O Sistema Aquífero dos Gabros de Beja é constituído por rochas ígneas e metamórficas (gabros, dioritos, metagabros, etc.) com porosidade muito elevada. Segundo Duque (2005), este sistema é habitualmente livre, fissurado e poroso, verificando-se, nalgumas situações esporádicas, a ocorrência de artesianismo positivo.

De acordo com Duque (2005), este sistema aquífero pode ser dividido em 3 sectores: Serpa-Guadiana, Beja-Ferreira do Alentejo e Beja-Guadiana, sendo este último o sector presente na zona em estudo.

Duque (2005) considera a base da espessura da zona alterada da ordem dos 12 metros e a base da zona fracturada e do aquífero de 26 metros.

Este autor refere ainda que a transmissividade mediana deste sistema é de 40,8 m²/dia, registando-se no sector de Beja-Guadiana 62,6 m²/dia.

CAPÍTULO 3 – VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO DOS AQUÍFEROS – MÉTODOS DE AVALIAÇÃO

3.1 – Objectivos do capítulo

Este capítulo tem por objectivo o cálculo da vulnerabilidade à contaminação do Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba e dos sistemas aquíferos envolventes, aplicando o índice DRASTIC, o Índice de Susceptibilidade, o índice GOD e o método EPPNA.

Desta forma, o capítulo 3 desenvolver-se-á em duas vertentes: na primeira, serão apresentadas algumas considerações gerais sobre vulnerabilidade à contaminação, nomeadamente a forma como as águas subterrâneas podem ser contaminadas e a distinção entre vulnerabilidade e risco; na segunda, serão apresentados os diferentes índices utilizados, descrevendo cada um deles e procedendo-se ao respectivo cálculo.

3.2 – Vulnerabilidade à contaminação – Considerações gerais

As águas subterrâneas possuem características específicas que as diferenciam das águas superficiais:

- movimento mais lento – velocidades típicas de 1 m/dia nas águas subterrâneas e 1 m/s nas águas superficiais;
- tipo de escoamento: laminar nas águas subterrâneas e turbulento nas águas superficiais;
- tempo médio de residência: 280 anos (até dezenas de milhares de anos);
- recarga muito pequena;
- grande volume de poros ou fissuras.

Estas características acarretam consequências, por um lado as águas subterrâneas constituem uma grande e confiável reserva, imune a alterações climáticas de curto e médio prazo e naturalmente protegidas contra a poluição, por outro, uma vez poluídas, as águas subterrâneas podem levar séculos a auto-descontaminar-se e a sua descontaminação artificial, além de lenta, é muito dispendiosa.

A qualidade natural das águas subterrâneas é determinada pela quantidade e natureza das substâncias que contêm e resulta da interacção da componente geológica (que determina a sua composição química), dos tipos de solos (que determinam a capacidade de transporte do escoamento) e da própria qualidade original da água de precipitação. Todavia, este equilíbrio



pode ser afectado, quer por factores externos (acção humana), quer por factores naturais, e, quando isto acontece dá-se a contaminação das águas subterrâneas.

Assim, e tendo em conta a poluição das águas subterrâneas através de factores antrópicos, estas podem ser contaminadas de duas formas distintas:

- através de poluição difusa – quando a fonte de poluição está distribuída em áreas extensas, o que inclui diversos processos erosivos naturais ou decorrentes de actividades antrópicas, nomeadamente o uso de fertilizantes na prática agrícola;
- através de poluição pontual ou linear – quando a fonte de poluição se limita a uma área restrita, por exemplo os efluentes líquidos industriais, esgotos sanitários e lixeiras, redes viárias ou ferroviárias ou a linha costeira.

A maior parte das fontes de poluição difusa das águas subterrâneas são os produtos utilizados na agricultura, como os pesticidas, herbicidas e fertilizantes. Os nitratos são os principais constituintes químicos dos fertilizantes e são eles os mais comuns na generalidade das águas dos diversos países. Segundo Leitão (1997), a aplicação excessiva destas águas no processo de rega conduz à lixiviação dos fertilizantes não utilizáveis pelas plantas, agravando assim a situação.

O nitrato apresenta, de acordo com Paralta *et al.* (2002), uma elevada mobilidade nas águas subterrâneas devido à sua grande solubilidade, à sua adsorção praticamente nula e a um retardamento baixo ou nulo, podendo migrar facilmente longas distâncias a partir da sua entrada no sistema.

Para estes autores, a extensão e persistência da contaminação difusa depende em larga medida da intensidade e frequência da aplicação de fertilizantes e fitofármacos, tipo de culturas, extensão da área regada, características pedológicas e hidrogeológicas dos terrenos, factores climáticos, entre outros.

Por outro lado, e tal como refere Moinante (2002), o controlo da evolução da poluição das águas subterrâneas e eventual reabilitação dos aquíferos atingidos, provocada pelo lançamento de poluentes num determinado ponto, é mais fácil, uma vez que a localização e caracterização deste foco de poluição também o é.

No entanto, a contaminação provocada pela descarga directa de efluentes em linhas de água (provenientes quer de fontes de poluição urbana quer industrial quer agro-pecuária), uns com tratamento prévio e outros sem qualquer tipo de tratamento, por rejeição de efluentes líquidos ao longo de estradas, via férreas, condutas de gás e de água residuais, lixeiras, aterros

sanitários, etc., é uma forma de poluição das águas subterrâneas e deverão ser alvo de um inventário que permita não só localizar estas fontes, mas também identificar e caracterizá-las, por forma a definir e implementar medidas de controle e eventual minimização dos efeitos.

Com efeito, estando os aquíferos sujeitos/vulneráveis à contaminação proveniente de diversas fontes, importa definir o conceito de vulnerabilidade.

Segundo as conclusões e recomendações da conferência internacional sobre “*Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants*” realizada nos Países Baixos em 1987, entende-se por vulnerabilidade “a sensibilidade da qualidade das águas subterrâneas a uma carga poluente, e que é função apenas das características intrínsecas do aquífero” (Lobo Ferreira e Cabral, 1991; Lobo Ferreira, 1998; Leitão *et al.*, 2003; Lobo Ferreira e Oliveira, 2004).

Existem contudo dois conceitos que se devem diferenciar: vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação e risco de contaminação de um aquífero. Quando se fala de vulnerabilidade de um aquífero está-se a fazer referência às características estruturais do aquífero, enquanto o risco de contaminação tem subjacente a existência de actividades poluentes em interacção com as características intrínsecas do aquífero.

Assim, e de acordo com Lobo Ferreira (1998), é possível existir um aquífero com alto índice de vulnerabilidade mas sem risco de poluição (caso não haja carga poluente), ou de haver um risco de poluição excepcional apesar do índice de vulnerabilidade ser baixo.

Segundo Foster (1987), a vulnerabilidade de um aquífero é função da:

- inacessibilidade hidráulica da penetração de contaminantes;
- capacidade de atenuação dos estratos acima da zona saturada do aquífero, como resultado da sua retenção física e reacções químicas com o contaminante.

Por sua vez, estes dois componentes interagem com outros dois factores:

- o modo de disposição do contaminante no subsolo e em particular a magnitude de qualquer carga hidráulica associada;
- a classe do contaminante, em termos de mobilidade e persistência.

Por outro lado, e de acordo com Mendes *et al.* (2006) podem-se considerar dois tipos de vulnerabilidade: vulnerabilidade intrínseca e específica. A vulnerabilidade intrínseca pode ser definida através de características geológicas e hidrogeológicas, não se considerando por esse facto o factor antrópico. A vulnerabilidade específica considera, além das características

intrínsecas do meio, algumas características específicas, tais como a ocupação do solo ou o tipo de contaminante.

Desta forma, a utilização de índices de vulnerabilidade, quer intrínseca (como o DRASTIC ou o GOD) e de vulnerabilidade específica (como o Índice de Susceptibilidade), constitui sempre uma primeira etapa em qualquer plano de ordenamento e gestão de um sistema aquífero.

Nesse sentido, serão utilizados os índices de vulnerabilidade DRASTIC, IS, GOD e EPPNA para calcular a vulnerabilidade à contaminação do Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba.

Importa referir que não foi considerado o cálculo do índice de vulnerabilidade AVI (*Aquifer Vulnerability Index*) uma vez que, tal como referem Artuso *et al.* (2004), se afigura um método com algumas limitações dado que “não considera de forma rigorosa a continuidade ou descontinuidade lateral dos aquíferos” e necessita de uma “base de dados constituída por logs de furos de sondagens”, que nem sempre reflectem a realidade e que no presente caso de estudo não se encontram disponíveis.

3.3 – Métodos de avaliação da vulnerabilidade aplicados na área em estudo

3.3.1 – Índice de vulnerabilidade DRASTIC

De acordo com Aller *et al.* (1987), o método DRASTIC foi desenvolvido tendo por base os seguintes pressupostos:

- O contaminante é introduzido à superfície do terreno;
- O contaminante é transportado verticalmente até ao aquífero pela água de infiltração;
- O contaminante tem a mobilidade da água;
- A área mínima avaliada pelo DRASTIC é de 0,4 km².

As siglas que compõem o nome do índice DRASTIC significam:

- D – Profundidade do topo do aquífero (*Depth to Water*);
- R – Recarga do aquífero (*Net Recharge*);
- A – Material do aquífero (*Aquifer Media*);
- S – Tipo de solo (*Soil Media*);
- T – Topografia (*Topography*);
- I – Influência da zona vadosa (*Impact oh the Vadose Zone Media*);
- C – Condutividade hidráulica do aquífero (*Hydraulic Conductivity of the Aquifer*).

Desta forma, e tal como referem LNEC (1997), “a vulnerabilidade surge como um conceito que permite integrar vários parâmetros caracterizadores do meio subterrâneo e da sua especificidade”. Os sete parâmetros DRASTIC foram divididos em escalas e em tipos de meio significativos que condicionam o potencial de poluição. Para cada divisão atribui-se um índice que varia entre 1 e 10 e cujo valor se relaciona directamente com o potencial de poluição.

Assim, para calcular o índice de vulnerabilidade DRASTIC recorre-se à seguinte expressão:

$$DRASTIC = Dp \times Di + Rp \times Ri + Ap \times Ai + Sp \times Si + Tp \times Ti + Ip \times Ii + Cp \times Ci \quad (1)$$

Em que:

- i é o índice atribuído ao elemento em causa;
- p é o factor de ponderação ou peso.

O DRASTIC compreende dois conjuntos de pesos, consoante se trata de poluentes em geral ou de pesticidas; o factor de ponderação p assumirá os valores constantes da Tabela 3.1:

Tabela 3.1 – Pesos a considerar no cálculo do índice de vulnerabilidade DRASTIC.

	p						
	D	R	A	S	T	I	C
Poluentes em geral	5	4	3	2	1	5	3
Pesticidas	5	4	3	5	3	4	2

Desta feita, e de forma a aplicar a expressão (1), definiu-se a metodologia a adoptar e que se encontra sistematizada na Figura 3.1. De acordo com a diversa bibliografia consultada (LNEC, 1997; Lobo Ferreira, 1998; Lobo Ferreira, 2000; LNEC, 2002; Gogu *et al.*, 2003; Oliveira e Lobo Ferreira, 2004; Artuso *et al.*, 2004; Panagopoulos *et al.*, 2005; Draoui *et al.*, 2007; Neukum *et al.*, 2007; Chitsazan e Akhtari, 2008; Ahmed, 2009; Sener *et al.*, 2009) são várias as classificações do índice de vulnerabilidade DRASTIC que se podem adoptar, umas mais restritas e outras mais abrangentes.

Assim, optou-se por recorrer a uma classificação mais abrangente, à semelhança da apresentada por Stigter *et al.* (2006) e que se pode observar na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Classificação do índice de vulnerabilidade DRASTIC.

Índice de Vulnerabilidade DRASTIC	
≤ 79	Extremamente baixo
80 - 99	Muito baixo
100 - 119	Baixo
120 - 139	Moderadamente baixo
140 - 159	Moderadamente alto
160 - 179	Alto
> 180	Muito alto

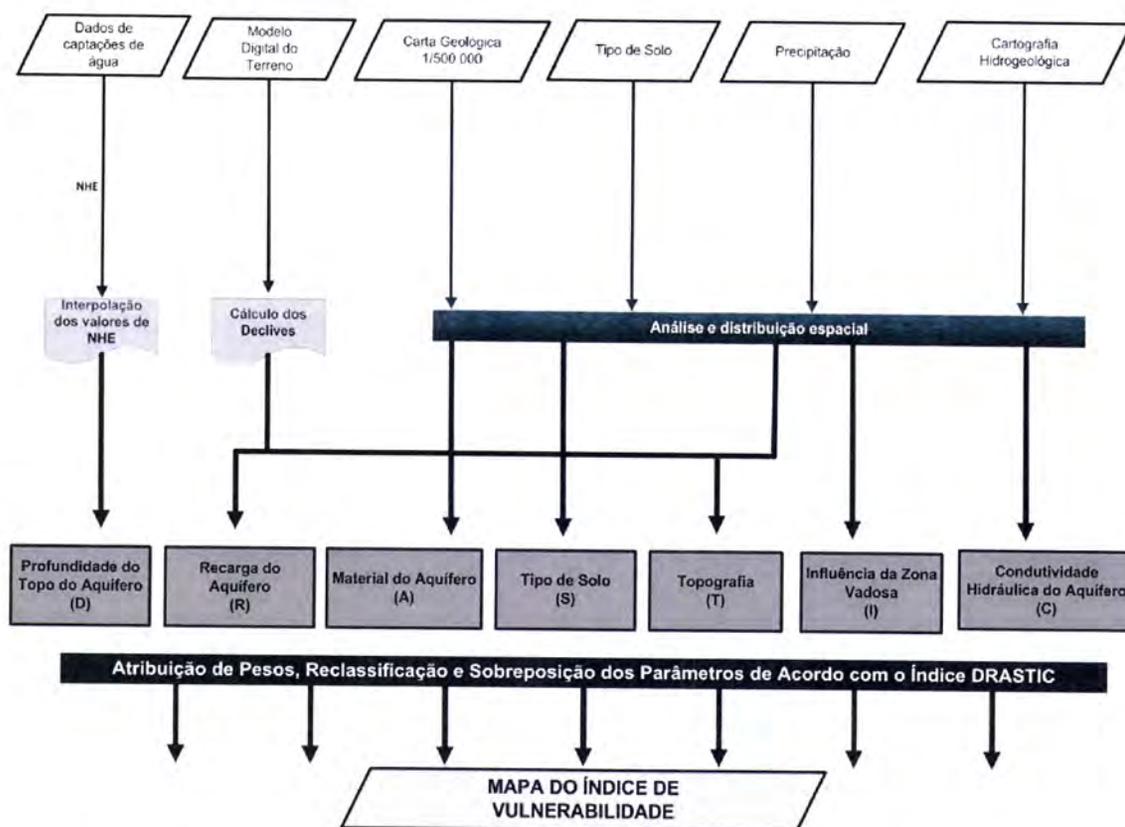


Figura 3.1 – Esquema da metodologia usada para calcular o índice de vulnerabilidade DRASTIC.

3.3.1.1 – D – PROFUNDIDADE DO TOPO DO AQUIFERO

Segundo LNEC (1997), a profundidade do topo do aquífero condiciona a espessura de material que um poluente tem que atravessar para atingir o aquífero. Quanto maior a distância a percorrer pelo poluente mais hipóteses existem de haver uma depuração por parte do solo atravessado. Para estes autores, num aquífero livre a profundidade é definida como a distância ao nível freático; nos aquíferos confinados, a profundidade é a distância ao topo do aquífero. Para os aquíferos semi-confinados deve-se, segundo LNEC (1997), optar entre a distância ao nível freático ou ao topo do aquífero.

Para o cálculo do parâmetro D, a metodologia adoptada consistiu em utilizar a informação do projecto “Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Alentejo” (ERHSA, 2001), interpolando os valores do nível hidroestático (NHE) para a zona em estudo.

Tendo em conta a tabela que define o valor de D para as diferentes classes de profundidade do topo do aquífero (Tabela 3.3), reclassificou-se a profundidade do topo do aquífero de acordo com o respectivo índice, obtendo-se assim a distribuição final do parâmetro D (Figura 3.2).

Tabela 3.3 – Intervalos de profundidade do topo do aquífero e respectivos índices (Aller *et al.*, 1987).

D - Profundidade do topo do aquífero (m)	Índice
<1,5	10
1,5 – 4,6	9
4,6 – 9,1	7
9,1 – 15,2	5
15,2 – 22,9	3
22,9 – 30,5	2
>30,5	1

A análise à Figura 3.2 permite constatar que a maior parte dos aquíferos em estudo registam profundidades do topo do aquífero entre 1,5 e 4,6 metros (índice 9). O facto da profundidade do topo do aquífero se situar próximo da superfície poderá indicar um risco de poluição das águas subterrâneas, facto que deverá ser avaliado tendo em consideração outros factores, como a geologia ou o tipo de solo.

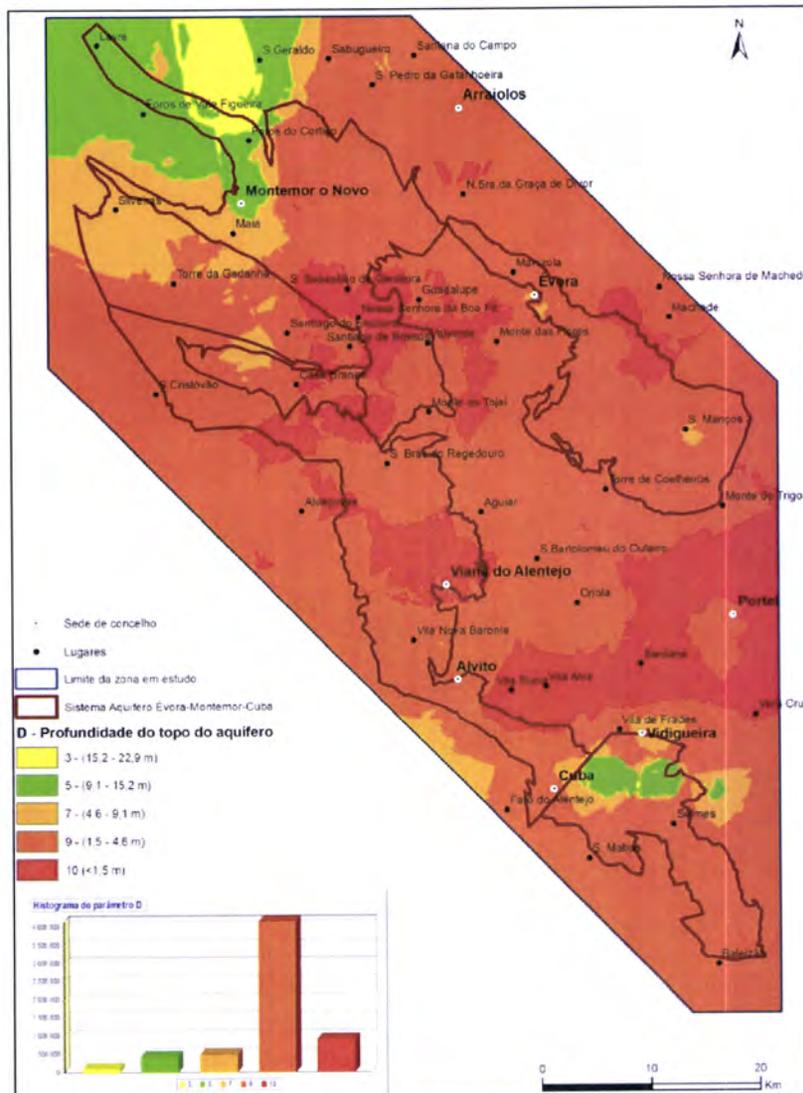


Figura 3.2 – Distribuição da profundidade do topo do aquífero de acordo com o método DRASTIC.

3.3.1.2 – R – RECARGA DO AQUÍFERO

Segundo LNEC (1997) e Oliveira e Lobo Ferreira (2004), “a recarga do aquífero condiciona o transporte de um poluente na zona não saturada e a disponibilidade de água para processos de dispersão e diluição tanto na zona vadosa como na zona saturada.” Assim, para estes autores, quanto maior a recarga maior será o potencial de poluição de águas subterrâneas. Todavia, um grande volume de recarga favorece a diminuição do potencial de poluição uma vez que possibilita a diluição das substâncias poluentes. Desta forma, e de acordo com a Tabela 3.4, definida por Aller *et al.* (1987), definiu-se a recarga para toda a área em estudo (Tabela 3.5 e Figura 3.3).

Tabela 3.4 – Intervalos de recarga e respectivos índices (Aller *et al.*, 1987).

R - Recarga do aquífero (mm/ano)	Índice
0-51	1
51-102	3
102-178	6
178-254	8
>254	9

Tabela 3.5 – Valores de recarga para os diferentes sistemas aquíferos presentes na área em estudo. (Fonte: ERHSA, 2001; Condeça, 2004; Duque, 2005)

Sistema Aquífero	Precipitação	Infiltração Eficaz (%)	Recarga (mm/ano)	Índice
Évora-Montemor-Cuba				
Sector de Évora	650	10	65	3
Sector de Montemor-o-Novo	714	10	71	3
Sector de Cuba-S. Cristóvão	650	10	65	3
Sector do Escoural	740	10	74	3
Sector de Vidigueira-Selmes	560	10	56	3
Outros:				
Aquífero de Viana -Alvito	655	15	101	3
Aquífero de Portel	637,1	14	89	3
Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda	682	27	184	8
Pouco Produtivo da ZOM	627	5	31	1
Pouco Produtivo da ZSP	582	5	29,1	1
Gabros de Beja	546,7	10	54	3

Embora os valores de precipitação para a zona em estudo sejam muito semelhantes, os valores de recarga dividem-se em quatro grandes grupos:

- O Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba, com valores de recarga entre 51 e 102 mm/ano (índice 3) e de infiltração eficaz da ordem dos 10%;
- Os aquíferos carbonatados de Viana-Alvito e Portel com valores de infiltração eficaz da ordem dos 15%;
- As rochas ígneas e metamórficas envolventes, com valores de recarga inferiores a 51 mm/ano;

- O Sistema Aquífero da Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda, com valores de recarga superiores a 178 mm/ano e taxas de infiltração da ordem dos 30%.

Assim, será de esperar que, retirando da análise o Sistema Aquífero da Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda, o Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba tenha uma vulnerabilidade à poluição superior às rochas ígneas e metamórficas envolventes, para este índice.

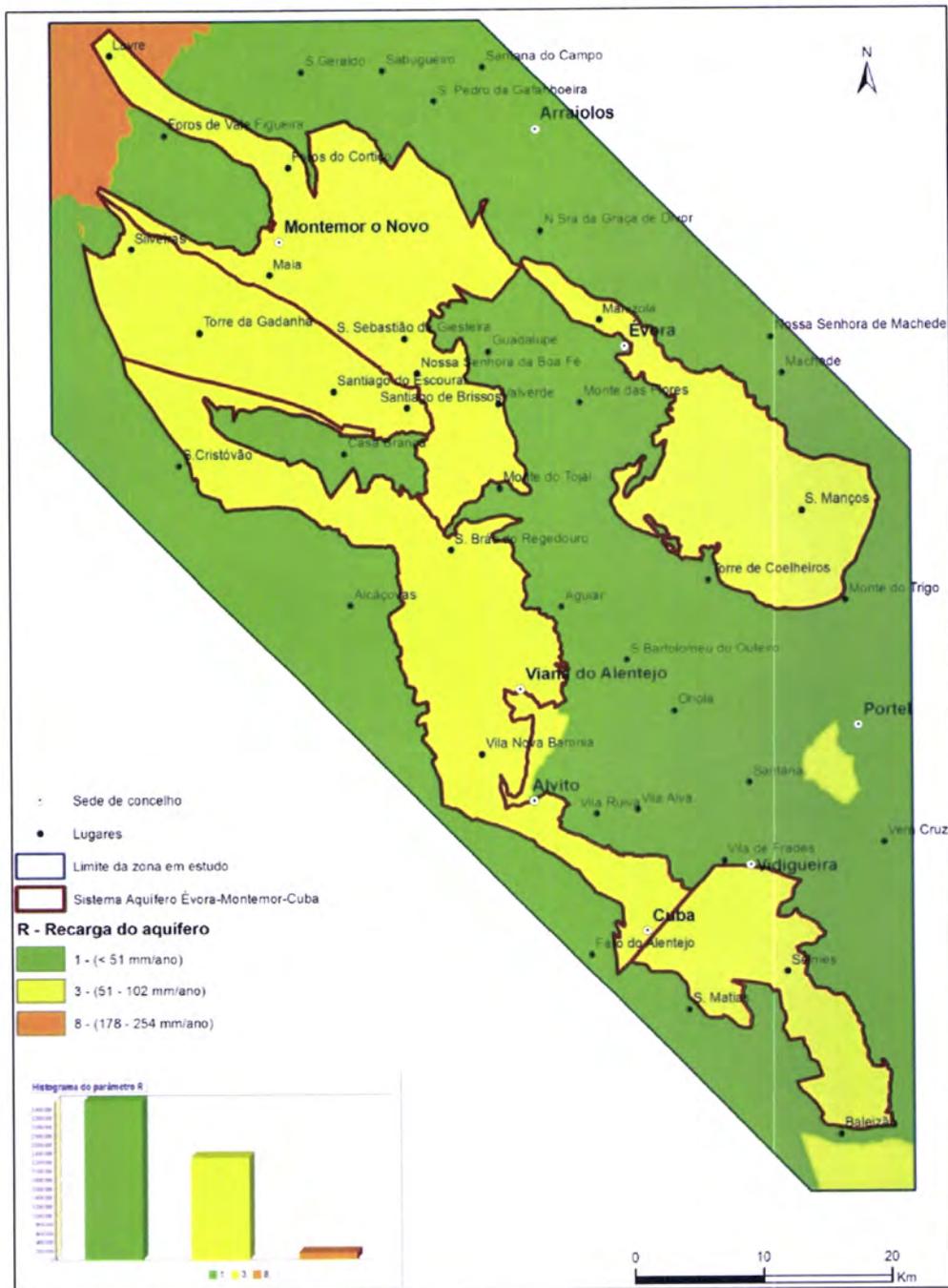


Figura 3.3 – Distribuição da recarga dos diferentes sistemas aquíferos de acordo com índice DRASTIC.

3.3.1.3 – A – MATERIAL DO AQUÍFERO

Segundo LNEC (1997) e Oliveira e Lobo Ferreira (2004), este parâmetro diz respeito à capacidade do aquífero para atenuar os efeitos poluentes, ou seja, quanto mais permeável for o material maiores são as hipóteses de contaminação das águas subterrâneas. Por outro lado, o material do aquífero condiciona o fluxo de água subterrânea que, tal como referem LNEC (1997), a par da condutividade hidráulica e do gradiente hidráulico, determinam o tempo disponível para a ocorrência dos processos de atenuação.

Assim, tendo em conta a Tabela 3.6 e recorrendo à carta geológica de Portugal à escala 1/500 000, foi possível determinar o parâmetro A para a zona em estudo (Figura 3.4).

Tabela 3.6 – Materiais do aquífero e o respectivo índice (Aller *et al.*, 1987).

A - Material do Aquífero	Índice
Xisto argiloso, argilito	1 - 3 (2)
Rocha metamórfica/ígnea	2 - 5 (3)
Rocha metamórfica/ígnea alterada	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)
Areia e balastro	4 - 9 (8)
Basalto	2 - 10 (9)
Calcário carsificado	9 - 10 (10)

A análise à Figura 3.4 mostra que o parâmetro A apresenta os valores mais elevados nos sectores de Viana-Alvito e de Portel, ou seja, o material geológico destes aquíferos apresenta maior vulnerabilidade à contaminação; na restante zona o material geológico surge como um bom atenuante à contaminação.

Por outro lado, a análise ao histograma constante da Figura 3.4 mostra que a maioria das classes litológicas apresenta um índice DRASTIC baixo (aproximadamente 3), ou seja, materiais menos permeáveis e conseqüentemente com menores probabilidades de potenciarem a contaminação.

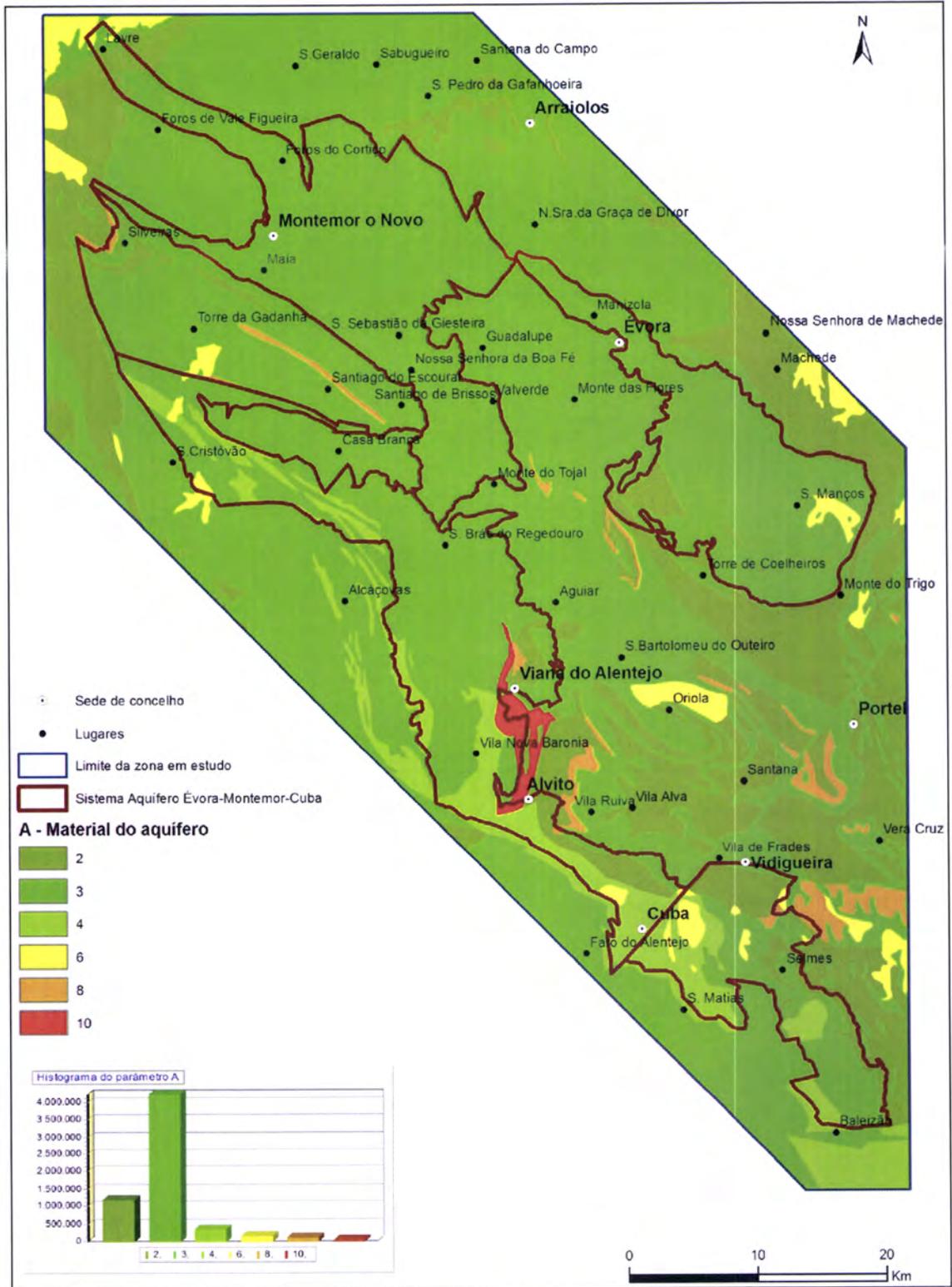


Figura 3.4 – Distribuição do material do aquífero de acordo com o índice DRASTIC.

3.3.1.4 – S – TIPO DE SOLO

Segundo LNEC (1997) e Oliveira e Lobo Ferreira (2004), o tipo de solo refere-se ao material da zona alterada da superfície terrestre, com uma espessura normalmente inferior a 2 metros. Este parâmetro tem especial relevância no que toca ao seu potencial atenuador da poluição, embora tenha também impacte na quantidade de recarga.

Assim, baseando-se nas propriedades de um solo que condicionam o potencial de poluição (espessura, textura, expansibilidade/contractibilidade e teor em matéria orgânica do solo), Aller *et al.* (1987) definiram 11 tipos diferentes de solo aos quais atribuíram índices entre 1 e 10 (Tabela 3.7), os quais têm um potencial atenuador da poluição quanto mais baixo for o índice.

Tabela 3.7 – Tipos de solos e respectivos índices (Aller *et al.*, 1987).

S - Tipo de Solo	Índice
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

Desta forma, e tendo por base a carta de capacidade de solos à escala 1/25 000, definiu-se o parâmetro S para a zona em estudo (Figura 3.5).

A análise ao histograma da Figura 3.5 mostra que existe uma grande dispersão do tipo de solos pela zona em estudo, sendo que no Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba predominam solos com um potencial atenuador da poluição entre o índice 3 e 7, ou seja, com um risco de contaminação baixo a moderado.

Os restantes aquíferos têm um comportamento semelhante, com excepção da zona norte e central (neste caso num alinhamento N-S entre a povoação da Guadalupe e de S. Bartolomeu do Outeiro) onde a presença de terrenos arenosos pode aumentar o risco de contaminação destes aquíferos.

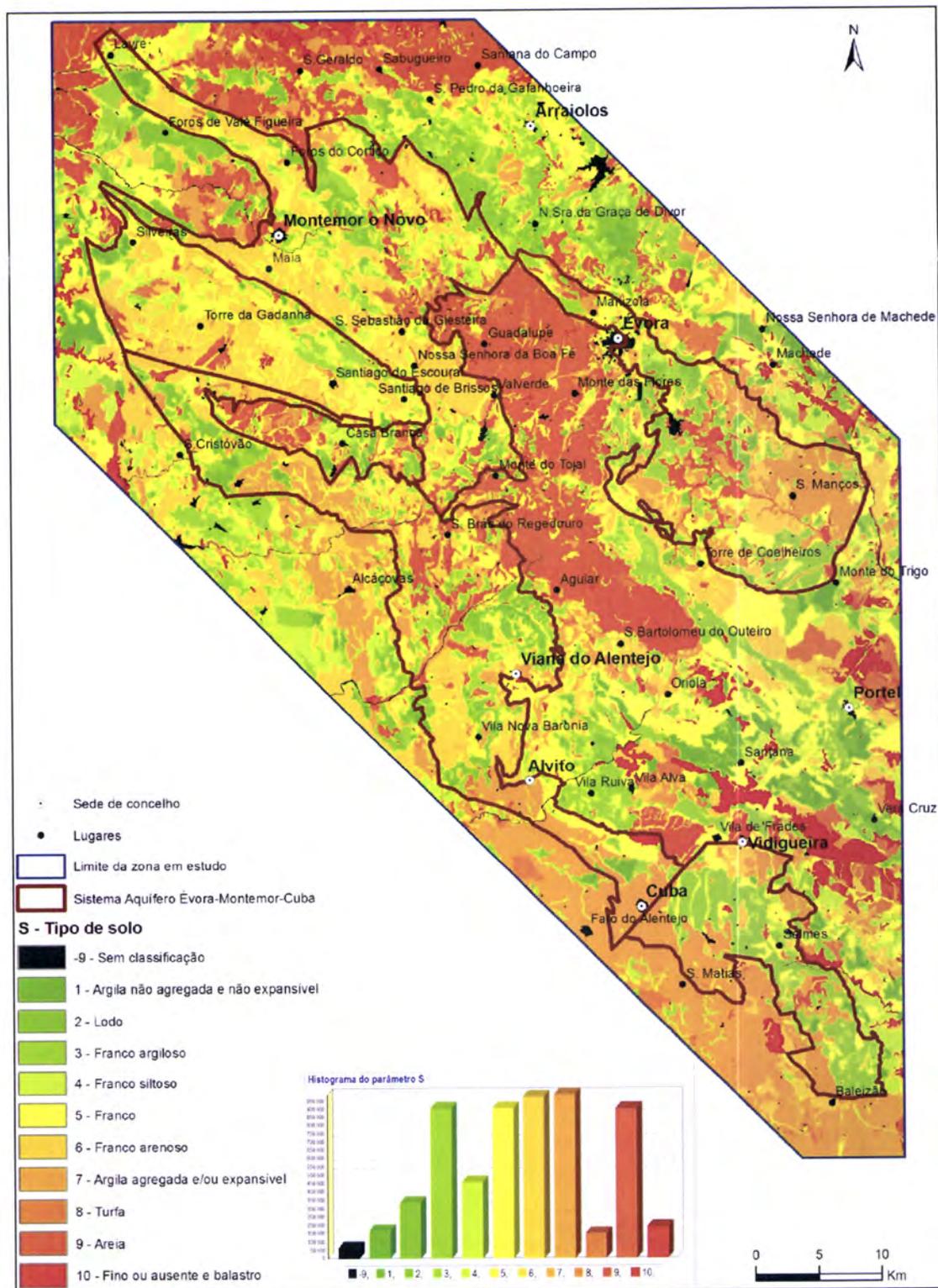


Figura 3.5 – Distribuição do tipo de solo de acordo com o índice DRASTIC.

3.3.1.5 – T - TOPOGRAFIA

Este parâmetro refere-se ao declive do terreno e condiciona a probabilidade de um poluente escoar superficialmente ou de permanecer à superfície durante o tempo necessário para se infiltrar. Aller *et al.* (1987) definiram 5 classes de declives (Tabela 3.8):

Tabela 3.8 – Classes de declive e respectivos índices (Aller *et al.*, 1987).

T – Topografia (declive em %)	Índice
<2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
>18	1

Quanto mais elevados forem os declives maior é o escoamento superficial e a erosão e menor é a infiltração, diminuindo assim a probabilidade de um contaminante atingir o aquífero.

Tendo em conta o MDT para a zona em estudo e recorrendo a ferramentas SIG, calculou-se o declive e de acordo com a Tabela 3.8 obteve-se a Figura 3.6.

A análise ao histograma da Figura 3.6 mostra que a maioria dos declives se situa entre 2 e 6%, ou seja, índices de vulnerabilidade elevados, o que implica um aumento da probabilidade de contaminação dos aquíferos.

No entanto, os sectores de Montemor-o-Novo e Escoural e os aquíferos de Viana-Alvito e Portel registam alguns declives elevados, com índices entre 9 e 10, pelo que será de esperar que nestas zonas ocorra uma atenuação da contaminação das águas subterrâneas, em relação a este índice.

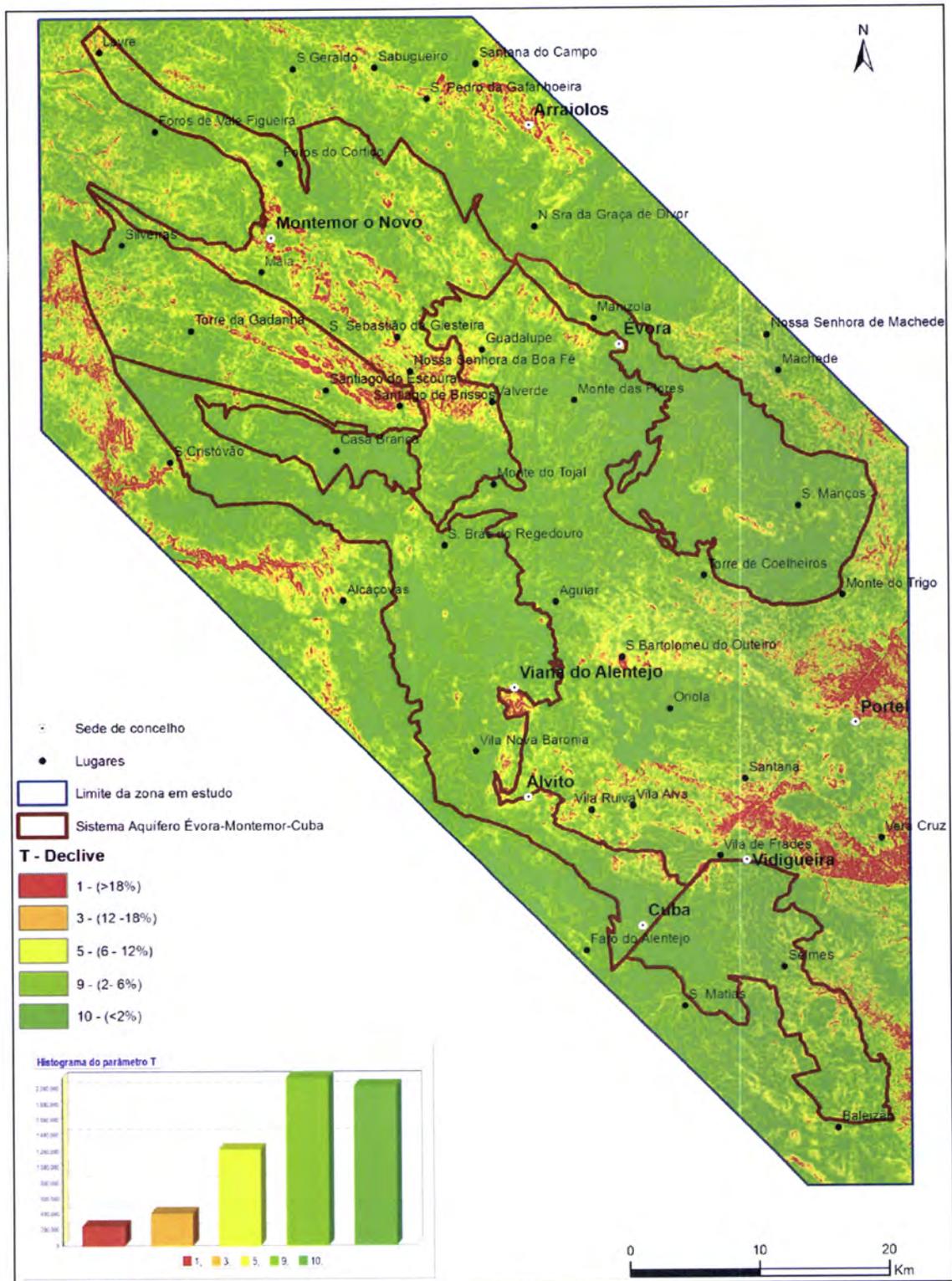


Figura 3.6 – Distribuição do declive de acordo com o índice DRASTIC.

3.3.1.6 – I – INFLUÊNCIA DA ZONA VADOSA

O tipo de material da zona vadosa condiciona, segundo LNEC (1997) e Oliveira e Lobo Ferreira (2004), o tempo de contacto com o poluente, permitindo a ocorrência de diversos processos: biodegradação, neutralização, filtração mecânica, reacção química, volatilização e dispersão. Para estes autores a fracturação nesta zona é também muito importante, uma vez que facilita a percolação vertical do poluente até ao aquífero.

Desta forma, Aller *et al.* (1987) consideraram os seguintes materiais da zona vadosa com importância para a atenuação do potencial de poluição (Tabela 3.9):

Tabela 3.9 – Materiais da zona vadosa e respectivo índice (Aller *et al.*, 1987).

I – Influência da zona vadosa	Índice
Camadas confinantes	1
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 percentagens significativas de silte e argila	4 - 8 (6)
Areia e balastro	4 - 8 (6)
Basalto	2 - 10 (9)
Calcário carsificado	8 - 10 (10)

Recorrendo uma vez mais à carta geológica de Portugal à escala 1/500 000, atribui-se a cada classe litológica o respectivo índice de vulnerabilidade DRASTIC, obtendo-se então a Figura 3.7.

A análise ao histograma da Figura 3.7 mostra que a maioria dos sistemas aquíferos apresentam valores do índice *I* moderado (aproximadamente 6), ou seja, o material da zona vadosa poderá em alguns casos facilitar a percolação do poluente até ao aquífero e noutros desempenhar um papel neutro na protecção do aquífero à contaminação; a excepção é o aquífero de Viana-Alvito que apresenta um índice elevado, esperando por isso um índice de vulnerabilidade DRASTIC alto para este aquífero.

No entanto, existem áreas dos sectores de Cuba-S.Cristóvão e de Vidigueira-Selmes e do aquífero de Portel, que irão dificultar a poluição das águas subterrâneas, uma vez que registam valores do índice *I* baixos e iguais a 3.

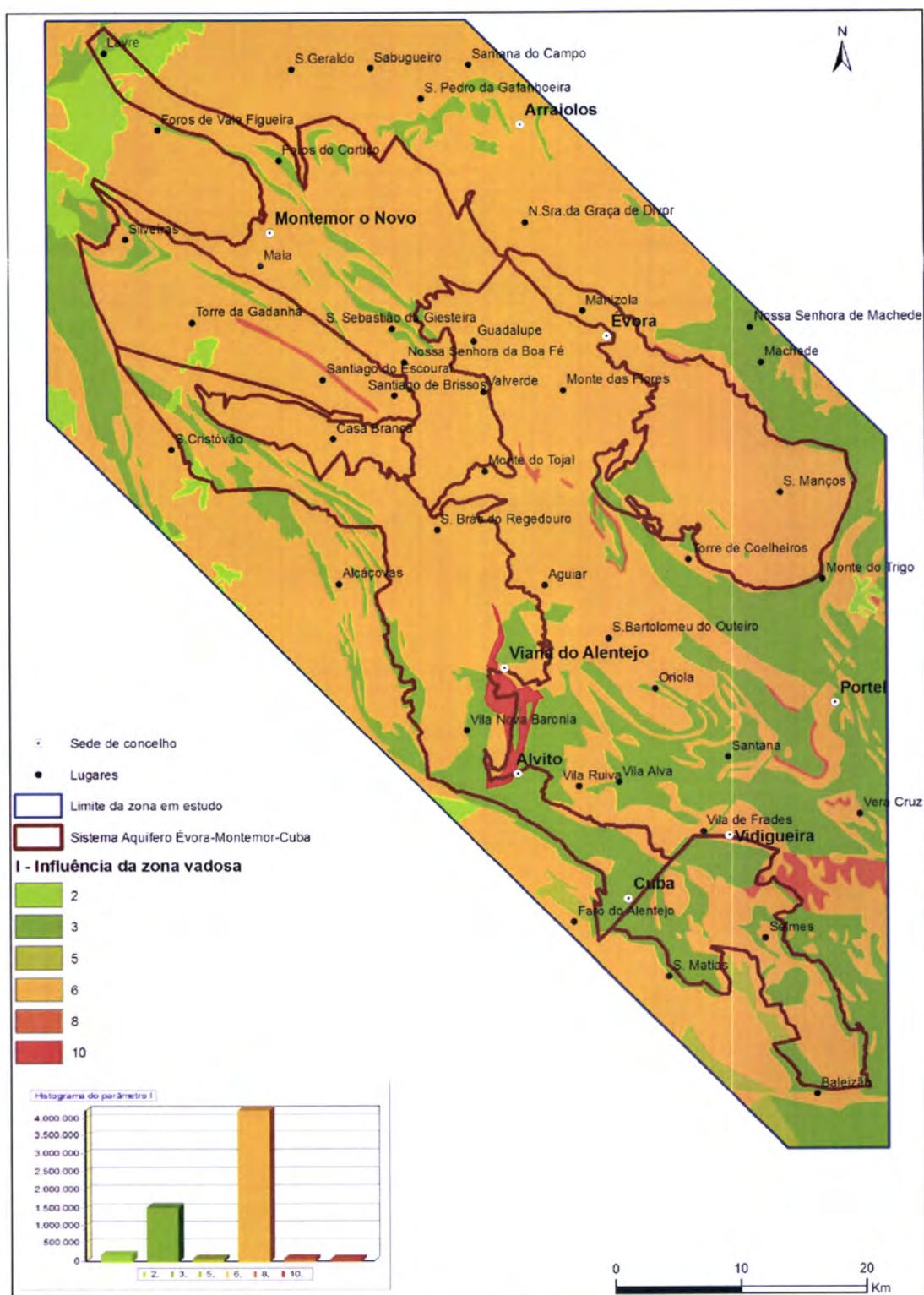


Figura 3.7 – Distribuição da Influência da zona vadosa de acordo com índice DRASTIC.

3.3.1.7 – C – CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO AQUÍFERO

A definição deste parâmetro está relacionada com a capacidade do aquífero em transmitir água e que, conjuntamente com o gradiente hidráulico, controla o fluxo de água subterrânea. A condutividade hidráulica depende da quantidade e conectividade dos espaços vazios dentro do aquífero (poros, fracturas, cavidades ou planos de estratificação). Assim, Aller *et al.* (1987) consideraram seis intervalos de condutividade hidráulica com importância para a atenuação do potencial de poluição (Tabela 3.10).

Tabela 3.10 – Intervalos de valores de condutividade hidráulica e respectivo índice (Aller *et al.*, 1987).

C – Condutividade hidráulica (m/dia)	Índice
0-4,1	1
4,1-12,2	2
12,2-28,5	4
28,5-40,7	6
40,7-81,5	8
>81,5	10

Tendo em conta os diferentes sistemas aquíferos presentes na zona em estudo construiu-se a Tabela 3.11 a qual procura sistematizar os diferentes valores de condutividade hidráulica e o respectivo índice considerado.

Tabela 3.11 – Valores de condutividade hidráulica e respectivo índice para os diferentes sistemas aquíferos presentes na zona em estudo. (Fonte: ERHSA, 2001; Condeça, 2004; Duque, 2005)

Sistema Aquífero	K (m/dia)	Índice
Évora-Montemor-Cuba:		
Sector de Évora	1,2-6	2
Sector de Montemor-o-Novo	1,2-6	2
Sector de Cuba-S. Cristóvão	1,2-6	2
Sector do Escoural	1,2-6	2
Sector de Vidigueira-Selmes	1,2-6	2
Outros:		
Aquífero de Viana -Alvito	23-60	6
Aquífero de Portel	23-60	6
Bacia do Tejo-Sado / Margem Esquerda	<4,1	1
Pouco Produtivo da ZOM	<4,1	1
Pouco Produtivo da ZSP	<4,1	1
Gabros de Beja	2,47	2

Desta forma, foi então possível elaborar a Figura 3.8 na qual se pode observar a distribuição espacial dos valores de condutividade hidráulica pela área em estudo. Desta figura pode-se concluir que são os aquíferos de Viana-Alvito e de Portel que registam valores de condutividade mais elevados (índice 6) pelo que terão uma vulnerabilidade à contaminação superior à dos restantes aquíferos, para este índice.

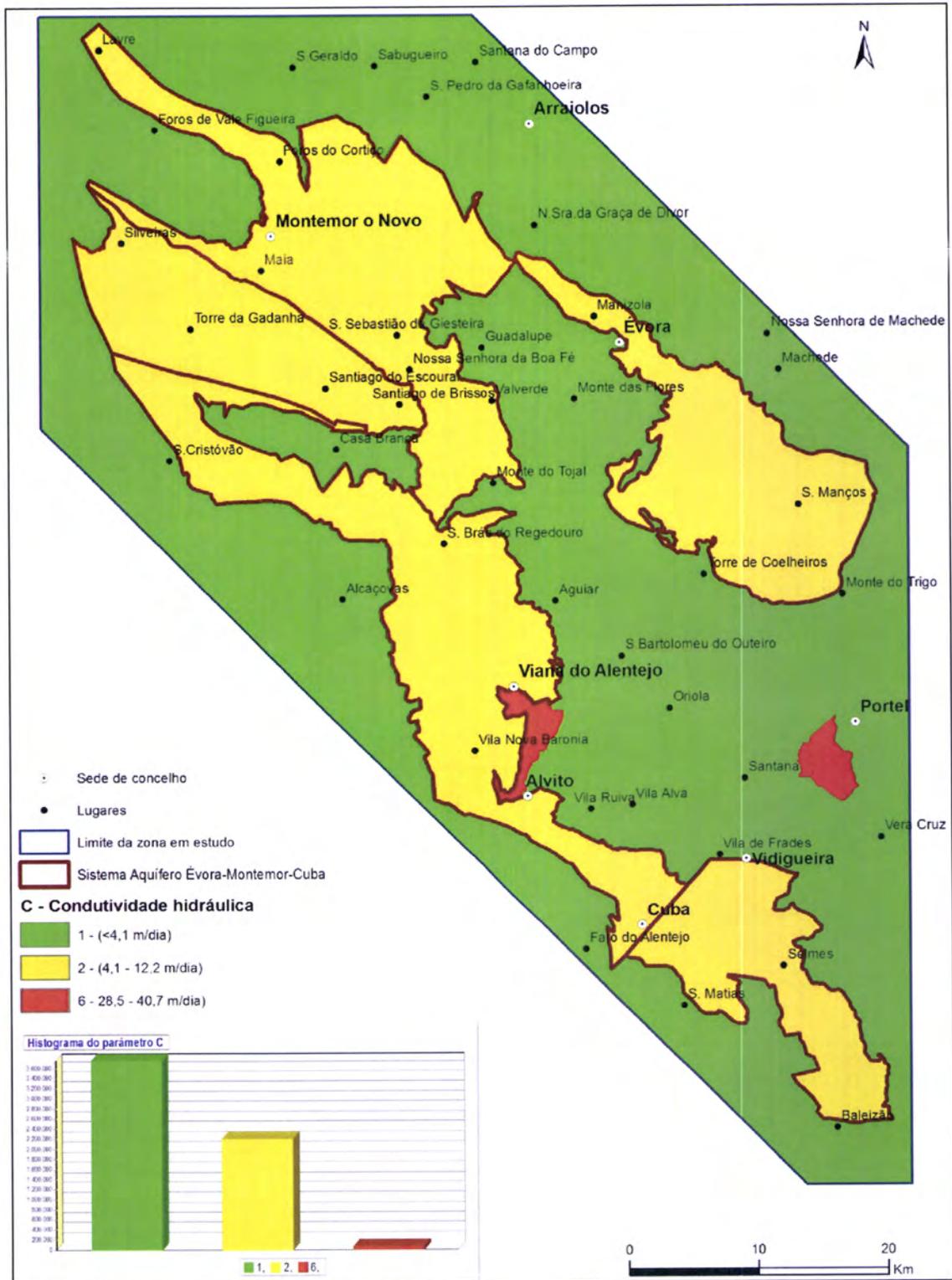


Figura 3.8 – Distribuição da condutividade hidráulica de acordo com o índice DRASIC.

3.3.1.8 – CÁLCULO FINAL DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE DRASTIC

Os subcapítulos anteriores procuraram sistematizar os diferentes passos adoptados na determinação dos diferentes parâmetros necessários para o cálculo do índice de vulnerabilidade DRASTIC. Assim, e de acordo com a expressão 1, calculou-se este índice para poluentes em geral e para pesticidas.

Uma primeira análise à Figura 3.9 mostra que a maioria dos sistemas aquíferos apresentam um índice de vulnerabilidade para poluentes em geral baixo, com excepção do aquífero de Viana-Alvito que regista um índice de vulnerabilidade alto em cerca de 60% da sua área.

Esta afirmação é suportada pela análise à Tabela 3.12, na qual se apresenta a distribuição da percentagem do índice de vulnerabilidade pelos diferentes aquíferos presentes na zona em estudo. Esta tabela permite ainda concluir que o Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba regista em média 50% dos valores classificados como índice de vulnerabilidade baixo e 40% como moderadamente baixo, ou seja, cerca de 90% dos valores apresentam um índice de vulnerabilidade à contaminação baixo, para poluentes em geral.

Tabela 3.12 – Distribuição da percentagem do índice de vulnerabilidade DRASTIC.

Sistema Aquífero		Mediana	Média	Min.	Máx.	% Índice de Vulnerabilidade DRASTIC						
						Extremamente baixo (579)	Muito baixo (80-99)	Baixo (100-119)	Moderadamente baixo (120-139)	Moderadamente alto (140-159)	Alto (160-179)	Muito Alto (>180)
Évora-Montemor-Cuba	Sector de Évora	122	120,9	67	141	0,04	2,34	35,98	61,64	0,01	0,00	0,00
	Sector Montemor-o-Novo	117	113,6	42	137	2,51	11,86	47,60	38,04	0,00	0,00	0,00
	Sector de Cuba-S. Cristóvão	121	119,3	67	172	0,15	3,34	44,30	49,75	0,49	1,96	0,00
	Sector do Escoural	117	115,5	66	159	0,05	6,05	60,48	31,65	1,78	0,00	0,00
	Sector de Vidigueira-Selmes	113	109,5	55	151	1,34	20,35	61,64	16,39	0,27	0,00	0,00
Outros	Aquífero de Viana-Alvito	168	150,2	87	189	0,00	0,39	25,98	16,20	0,34	57,09	1,83
	Aquífero de Portel	127	125,6	101	164	0,00	0,00	37,58	54,14	7,85	0,42	0,00
	Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda	102	106,9	59	146	1,36	46,10	24,39	28,08	0,07	0,00	0,00
	Pouco Produtivo da ZOM	106	104,3	41	162	1,83	31,00	62,74	4,04	0,40	0,00	0,00
	Pouco Produtivo da ZSP	90	92,4	56	121	13,52	56,69	28,46	1,33	0,00	0,00	0,00
	Gabros de Beja	110	110,4	72	124	0,21	0,09	91,63	8,08	0,00	0,00	0,00
Sistema Aquífero		Mediana	Média	Min.	Máx.	% Índice de Vulnerabilidade DRASTIC - Pesticidas						
						Extremamente baixo (579)	Muito baixo (80-99)	Baixo (100-119)	Moderadamente baixo (120-139)	Moderadamente alto (140-159)	Alto (160-179)	Muito Alto (>180)
Évora-Montemor-Cuba	Sector de Évora	149	147,2	37	179	1,58	0,03	0,44	31,97	50,11	15,88	0,00
	Sector Montemor-o-Novo	138	136,2	13	179	1,16	14,65	33,16	33,81	10,11	7,11	0,00
	Sector de Cuba-S. Cristóvão	147	145,9	37	201	0,98	0,25	2,71	29,88	50,99	13,62	1,57
	Sector do Escoural	139	137,3	42	194	0,42	0,50	11,37	44,91	37,61	5,16	0,03
	Sector de Vidigueira-Selmes	136	137,4	37	182	0,79	1,54	15,54	43,78	36,58	1,72	0,04
Outros	Aquífero de Viana-Alvito	172	165,5	60	221	0,93	0,06	1,26	20,51	18,30	22,91	36,03
	Aquífero de Portel	142	142	100	190	0,00	0,00	5,34	37,78	44,89	11,41	0,57
	Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda	133	136,3	31	186	1,26	2,79	22,83	30,36	19,36	23,38	0,02
	Pouco Produtivo da ZOM	129	130,5	13	192	1,26	3,84	20,75	42,08	29,00	2,89	0,18
	Pouco Produtivo da ZSP	114	113,7	27	164	2,86	21,48	39,09	29,09	6,15	1,33	0,00
	Gabros de Beja	145	143,4	47	163	0,21	0,00	0,23	24,82	74,43	0,32	0,00

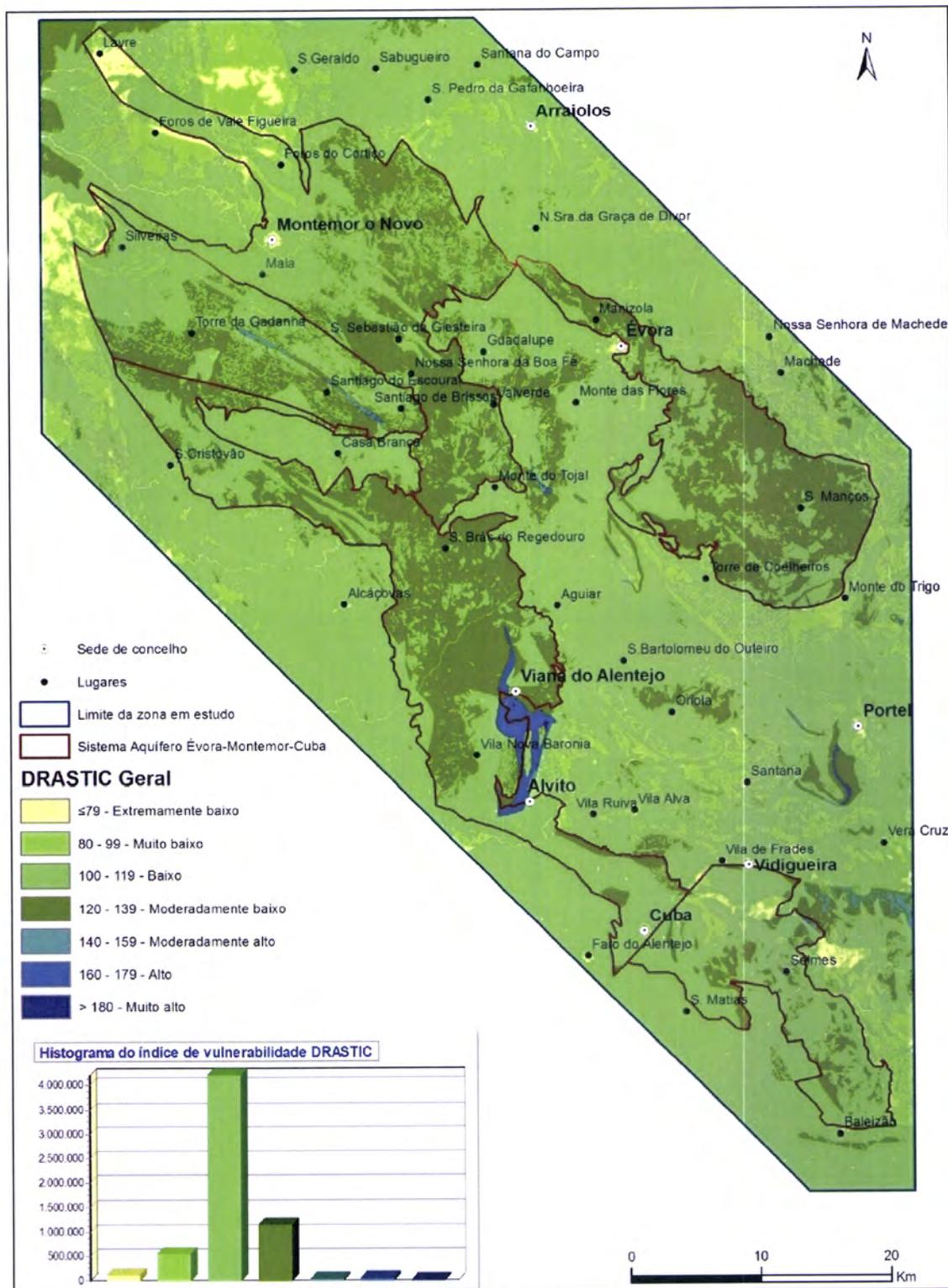


Figura 3.9 – Índice de vulnerabilidade DRASTIC para poluentes em geral.

A análise à Figura 3.10 mostra que os aquíferos estudados se distribuem em três grandes grupos:

- Um grupo formado pelos sectores pertencentes ao Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba, com valores medianos de vulnerabilidade à contaminação baixos e situados entre 110 e 120;
- Um segundo grupo formado pelos aquíferos carbonatados de Viana-Alvito e Portel, com índices de vulnerabilidade mais elevados e com claro destaque para o aquífero de Viana-Alvito, que regista valores medianos altos e da ordem dos 170;
- Um terceiro grupo formado pelos restantes aquíferos presentes na zona em estudo, com índices de vulnerabilidade ligeiramente inferiores aos verificados no primeiro grupo, mas com valores mais dispersos pelas diferentes classes de vulnerabilidade.

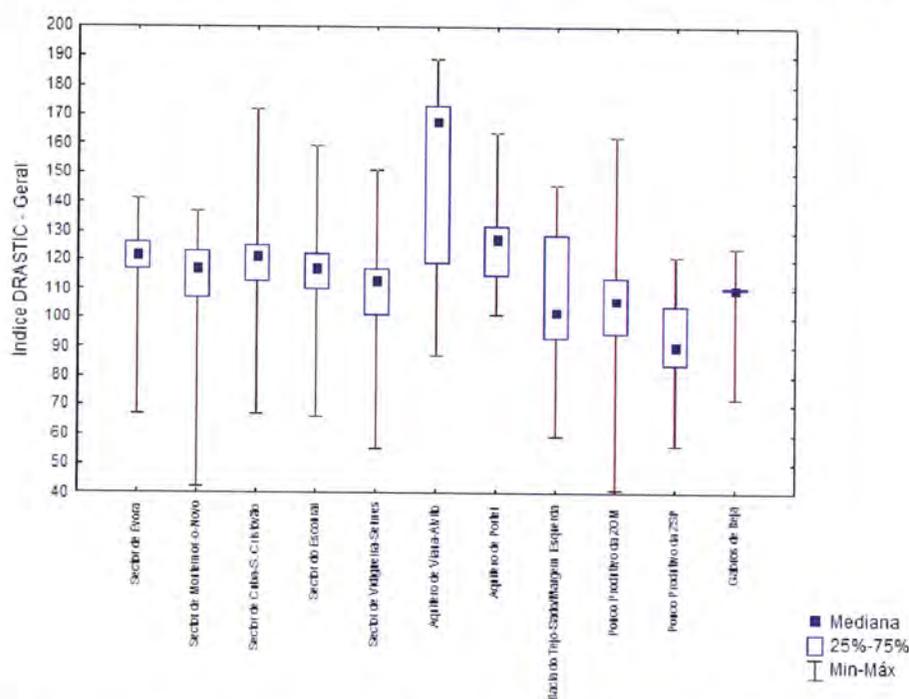


Figura 3.10 – Diagrama da distribuição do índice de vulnerabilidade à contaminação em geral.

No que se refere à vulnerabilidade à contaminação por pesticidas (Figuras 3.11 e 3.12), o índice avançou uma classe, isto é, o Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba passou maioritariamente a ser classificado como moderadamente baixo a alto, registando um valor médio correspondente a uma vulnerabilidade moderadamente alta. No entanto, e ao contrário do verificado no índice de vulnerabilidade à contaminação em geral, a sustentação deste valor mediano não pode ser corroborada pela análise ao primeiro e terceiro quartil, uma vez que neste caso os valores de vulnerabilidade estão mais dispersos (Figura 3.11).

Por outro lado, os aquíferos carbonatados apresentam cerca de 41 e 56% da sua área (Viana-Alvito e Portel, respectivamente) classificada com um índice DRASTIC moderadamente alto a alto, sendo que o aquífero de Viana-Alvito regista ainda cerca de 36% da sua área classificada com um índice de vulnerabilidade à contaminação por pesticidas muito alto.

A análise à Figura 3.11 permite ainda separar claramente o Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba dos restantes aquíferos, voltando a destacar-se o aquífero de Viana-Alvito. Os restantes aquíferos, e incluindo aqui o aquífero carbonatado de Portel, apresentam valores de vulnerabilidade mais dispersos e com uma mediana abaixo do índice moderadamente alto.

De referir, que dentro do Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba, são os sectores de Évora e de Cuba-S.Cristóvão que apresentam os valores de vulnerabilidade à contaminação por pesticidas mais elevados, com cerca de 66 e 64% da sua área classificada com um índice moderadamente alto a alto.

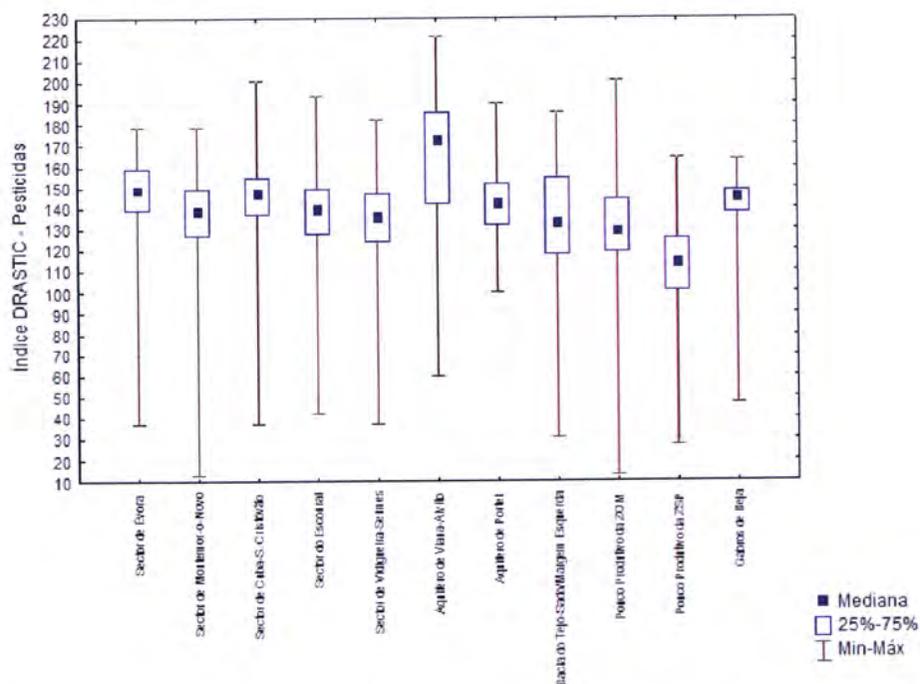


Figura 3.11 – Diagrama da distribuição do índice de vulnerabilidade à contaminação por pesticidas.

A distribuição espacial do índice de vulnerabilidade (Figura 3.12) vem corroborar a separação dos valores em três grupos de aquíferos, destacando-se claramente o Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba dos restantes aquíferos, o qual, com excepção do aquífero carbonatado de Viana-Alvito, apresenta valores de vulnerabilidade mais elevados.

Importa referir que, e tal como foi referido no subcapítulo 3.3.1.4, a presença de terrenos arenosos no alinhamento N-S entre a povoação da Guadalupe e de S. Bartolomeu do Outeiro

contribuiu para o aumento do risco de contaminação, corroborado pela existência nesta zona de um índice DRASTIC para pesticidas moderadamente alto a alto.

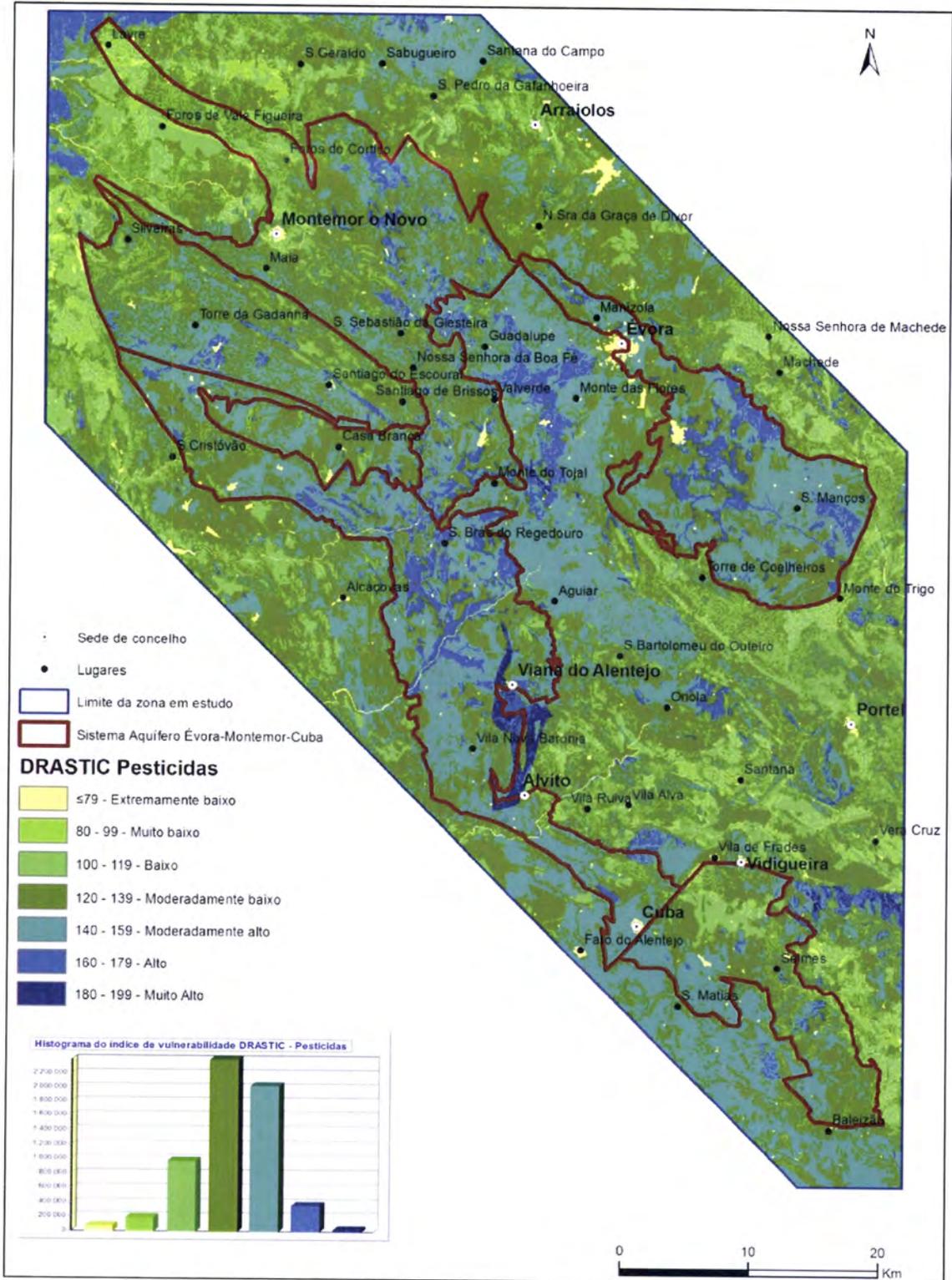


Figura 3.12 – Índice de vulnerabilidade DRASTIC para pesticidas.

3.3.2 – Índice de susceptibilidade

O índice de susceptibilidade (IS) consiste numa adaptação do índice de vulnerabilidade DRASTIC, mantendo-se a forma rápida de avaliar a vulnerabilidade de uma determinada área através da soma ponderada de vários parâmetros:

$$IS = 0,186 \times D + 0,212 \times R + 0,259 \times A + 0,121 \times T + 0,222 LU \quad (2)$$

Em que:

- D – Profundidade da zona não saturada;
- R – Recarga do aquífero;
- A – Geologia do aquífero;
- T – Declive do terreno;
- LU – Ocupação do solo.

A grande diferença reside na inclusão do parâmetro LU, abandonando assim, e tal como referem Stigter *et al.* (2002), “o conceito de um índice puramente intrínseco (baseado unicamente nas condições naturais).” Para estes autores o IS “foi desenvolvido para avaliar a vulnerabilidade específica, definida pelos impactos potenciais do uso específico dos solos e dos contaminantes associados a esse uso” e de acordo com Mendes *et al.* (2006) vem corrigir duas das principais deficiências associadas ao índice DRASTIC (a redundância entre parâmetros e os sistema de ponderação arbitrário).

Os quatro primeiros parâmetros são comuns ao índice DRASTIC (multiplicados por 10) e calculados da mesma forma; o LU é obtido tendo por base ponderações atribuídas a cada uma das classes em que se divide o uso do solo.

O índice varia entre 0 e 100 e quanto maior o valor do IS maior é a probabilidade de um área ser mais vulnerável à contaminação (Tabela 3.13).

Tabela 3.13 – Classificação do índice de susceptibilidade.

Índice de Susceptibilidade	
≤ 30	Extremamente baixo
30 – 40	Muito baixo
40 – 50	Baixo
50 – 60	Moderadamente baixo
60 – 70	Moderadamente alto
70 - 80	Alto
> 80	Muito alto

Desde a sua criação, em 2000, que o IS tem sido aplicado na avaliação do grau de susceptibilidade à contaminação agrícola, nomeadamente nos seguintes estudos:

- Avaliação da vulnerabilidade das águas subterrâneas à contaminação usando seis métodos diferentes: AVI, GOD, DRASTIC, IS, EPPNA e SINTACS, aplicada ao sector de Évora (LNEC, 2002);
- Vulnerabilidade e risco de contaminação agrícola no sistema aquífero dos Gabros de Beja (Ribeiro *et al.*, 2003);
- Vulnerabilidade à contaminação aquífera e cartografia da contaminação agrícola por pesticidas e nitratos na região do Ribatejo (Paralta *et al.*, 2001; Batista, 2003);
- Vulnerabilidade à contaminação agrícola nos aquíferos da Campina de Faro e de Luz de Tavira (Stigter *et al.*, 2003; Stigter, 2005; Stigter, *et al.*, 2006);
- Impacto dos perímetros de rega do Alqueva no sistema aquífero de Moura-Ficalho (Oliveira, 2004);
- Impacto do perímetro de rega dos Minutos no sistema aquífero de Évora-Montemor-Cuba (Mendes, 2004);
- Impacto das alterações climáticas na qualidade da água do aquífero dos Gabros de Beja (Nascimento *et al.*, 2004; Nascimento e Ribeiro, 2004).

Assim, e tomando por base estes estudos e tendo em conta que a metodologia a adoptar para o cálculo do índice de susceptibilidade é muito semelhante à utilizada no cálculo do índice de vulnerabilidade DRASTIC (Figura 3.1), procedeu-se ao cálculo dos diferentes parâmetros considerados e do respectivo IS.

3.3.2.1 – D, R, A E T

Tal como já foi referido, estes quatro parâmetros são determinados da mesma forma que no índice DRASTIC, alterando a reclassificação do índice através da multiplicação do mesmo por 10.

3.3.2.2 – LU – OCUPAÇÃO DO SOLO

De acordo com Mendes (2004), o parâmetro LU tem como pressuposto que todas as ocupações do solo são, à priori, fontes de poluição. Por exemplo, as zonas de deposição de resíduos são focos de poluição, enquanto as florestas, por não exigirem pesticidas e/ou fertilizantes, não são consideradas ocupações do solo que coloquem em risco as águas subterrâneas.

Assim, e tal como já foi referido, para o cálculo da ocupação do solo recorreu-se ao *Corine Land Cover* 2000 e 2006, atribuindo às diferentes ocupações do solo o índice de acordo com a Tabela 3.14.

Tabela 3.14 – Classificação da ocupação do solo (LU).

LU – Ocupação do solo	Índice
Descargas industriais, zonas de espalhamento de lixo	100
Perímetros regados, arrozais	90
Pedreiras, zonas de extracção de areias, minas a céu aberto, estaleiros	80
Aeroportos, zonas portuárias, infra-estruturas da rede ferroviária e de auto-estradas	75
Espaços de actividades industriais, comerciais e de equipamentos gerais	75
Espaços verdes urbanos	75
Zonas com equipamentos desportivos e de ocupação dos tempos livres	75
Tecido urbano contínuo	75
Tecido urbano descontínuo	70
Culturas permanentes (vinhas, pomares, olivais, etc.)	70
Culturas anuais associadas às culturas permanentes	50
Pastagens	50
Sistemas culturais e parcelares complexos	50
Terras ocupadas principalmente por agricultura com espaços naturais importantes	50
Territórios agro-florestais	50
Meios aquáticos (sapais, salinas, etc.)	50
Florestas e meios semi-naturais, superfícies com água	0

A Tabela 3.15, na qual se sistematizam não só os diferentes índices de ocupação do solo atribuídos na zona em estudo mas também se apresentam as variações na ocupação do solo entre o ano 2000 e 2006, permite concluir que não se registam grandes alterações no uso do solo. Desta forma, optou-se por determinar o parâmetro LU considerando apenas a ocupação do solo de acordo com o *Corine Land Cover* 2006, obtendo-se assim a Figura 3.13.

A análise à Tabela 3.15 e à Figura 3.13 permite ainda constatar que são as culturas de sequeiro, os sistemas agro-florestais e as florestas de folhosas que ocupam uma maior percentagem de área na zona em estudo (no total ocupam cerca de 80%) resultando, assim, um risco à contaminação baixo.

Dos diferentes sectores que constituem o Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba, é o sector de Vidigueira-Selmes que apresenta uma maior percentagem de culturas temporárias de sequeiro (65%), seguindo-se o sector de Évora, de Cuba-São Cristóvão e de Montemor (52, 46 e 24%, respectivamente).

Por outro lado, nos sectores do Escoural e de Montemor e nos aquíferos de Portel e Viana-Alvito predominam os sistemas agro-florestais e florestas de folhosas (68, 56, 76 e 60%, respectivamente).

Desta forma, e tal como se pode constatar pelas anteriores afirmações e pela análise da Figura 3.13, a maioria da zona em estudo apresenta um índice LU baixo (registando-se pontualmente valores com risco de contaminação altos), pelo que será de esperar uma vulnerabilidade à poluição baixa.

Tabela 3.15 – Comparação entre a ocupação do solo segundo o Corine Land Cover 2000 e 2006 e a respectiva área ocupada.

LU - Ocupação do solo	IS	Área (km ²)		% Área ocupada	
		Corine 2000	Corine 2006	Corine 2000	Corine 2006
Tecido urbano contínuo	75	1,83	1,89	0,05	0,05
Tecido urbano descontínuo	70	24,65	26,61	0,65	0,71
Indústria, comércio e equipamentos gerais	75	3,87	4,43	0,10	0,12
Aeroportos e aeródromos	75	0,33	0,33	0,01	0,01
Áreas de extracção de inertes	80	1,05	1,31	0,03	0,03
Áreas de deposição de resíduos	100	-	0,25	-	0,01
Áreas em construção	80	0,27	0,49	0,01	0,01
Culturas temporárias de sequeiro	50	1373,88	1331,36	36,46	35,33
Culturas temporárias de regadio	90	98,30	106,08	2,61	2,81
Arrozais	90	10,63	9,44	0,28	0,25
Vinhas	70	35,89	44,69	0,95	1,19
Pomares	70	2,36	2,67	0,06	0,07
Olivais	70	117,65	121,34	3,12	3,22
Pastagens permanentes	50	8,86	8,86	0,24	0,24
Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes	50	121,50	121,61	3,22	3,23
Sistemas culturais e parcelares complexos	50	79,60	78,18	2,11	2,07
Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	50	15,08	15,24	0,40	0,40
Sistemas agro-florestais	50	963,71	957,04	25,57	25,40
Florestas de folhosas	0	786,09	745,42	20,86	19,78
Florestas de resinosas	0	7,75	2,66	0,21	0,07
Florestas mistas	0	21,41	17,29	0,57	0,46
Vegetação herbácea natural	50	0,57	-	0,02	-
Matos	50	7,69	7,69	0,20	0,20
Vegetação esclerófila	50	3,04	3,04	0,08	0,08
Florestas abertas, cortes e novas plantações	0	54,63	128,39	1,45	3,41
Áreas ardidas	80	-	0,28	-	0,01
Cursos de água	0	-	0,03	-	0,001
Planos de água	0	27,93	31,92	0,74	0,85

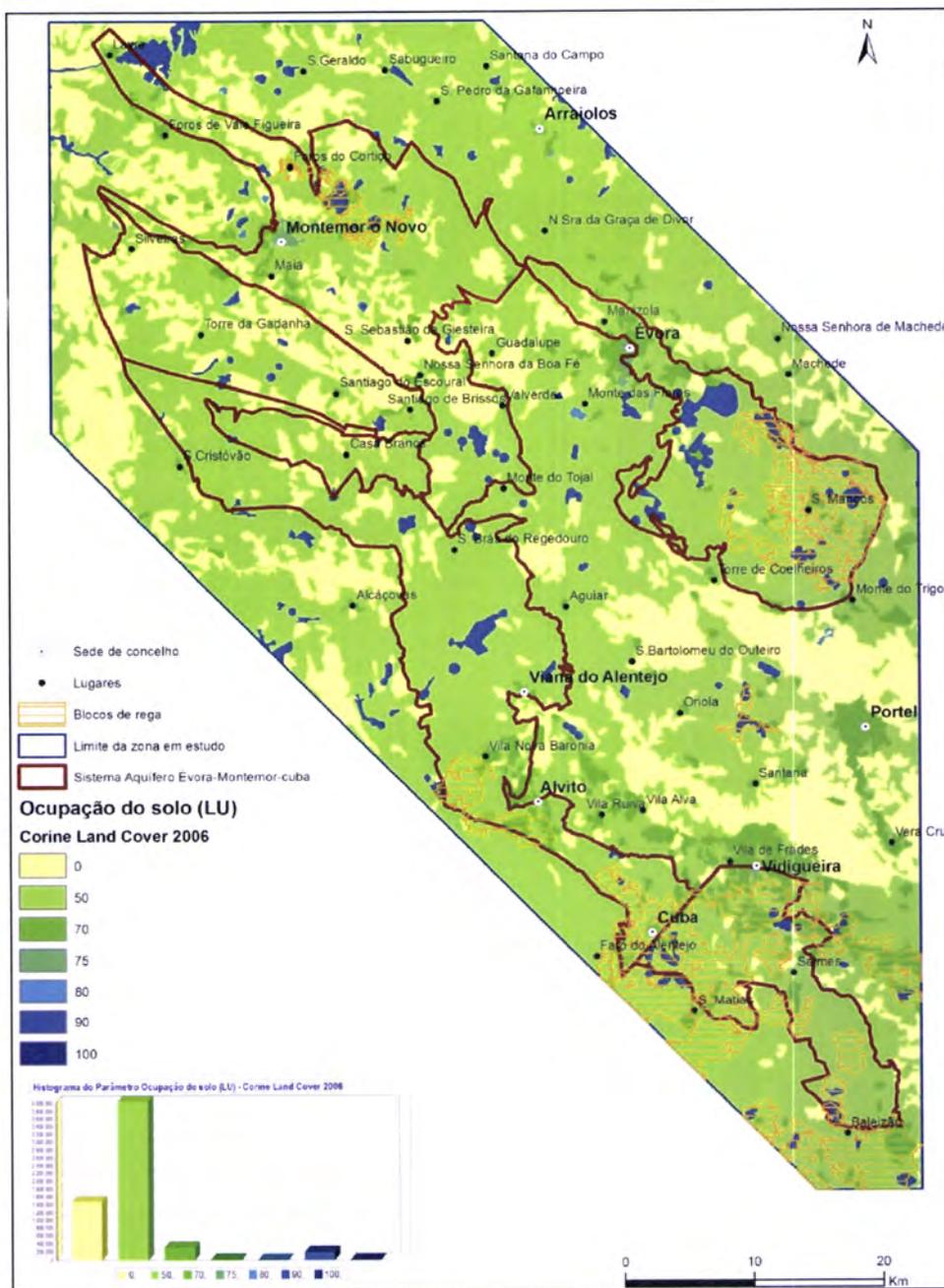


Figura 3.13 – Ocupação do solo (LU) de acordo com o *Corine Land Cover 2006*.

Todavia, e tendo em conta a existência na zona em estudo de blocos de rega, nomeadamente das albufeiras de Alqueva e dos Minutos (Tabela 3.16), houve a necessidade de proceder a uma reavaliação das classes de uso (Tabela 3.17), obtendo-se então uma nova distribuição da ocupação do solo (Figura 3.14).

Tabela 3.16 – Blocos de rega presentes na zona em estudo.

Perímetro de rega	Subsistema	Bloco de rega	Fonte
Alvito-Vale de Gaio	Alqueva	Alvito-Barras	EDIA
S. Pedro	Pedrógão	Baleizão-E	
Monte Novo	Alqueva	Bloco 1.2	
S. Matias	Pedrógão	S. Matias-N	
Pedrógão	Pedrógão	S. Pedro-N	
Alvito-Pisão	Alqueva	Cuba Este 1	
		Cuba Este 2	
Loureiro Alvito	Alqueva	Loureiro-Alvito	
Minutos		Minutos	IDRHA

Tabela 3.17 – Reclassificação das classes de ocupação do solo (LU) afectadas pela presença dos blocos de rega e a respectiva área ocupada.

LU - Ocupação do solo	IS inicial	IS reclassificado	Área afectada (km ²)	% Área afectada
Tecido urbano descontínuo	70	90	0,7	0,2
Culturas temporárias de sequeiro	50	90	212,1	65,7
Culturas temporárias de regadio	90	90	27,6	8,5
Vinhas	70	90	15,0	4,6
Pomares	70	90	0,5	0,1
Olivais	70	90	29,0	9,0
Pastagens permanentes	50	90	1,4	0,4
Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes	50	90	25,1	7,8
Sistemas culturais e parcelares complexos	50	90	5,0	1,5
Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	50	90	0,1	0,02
Sistemas agro-florestais	50	90	4,2	1,3
Florestas de folhosas	0	90	0,5	0,1
Florestas abertas, cortes e novas plantações	0	90	1,5	0,5
Planos de Água	0	90	0,3	0,1

De acordo com a Tabela 3.17, as classes de ocupação do solo mais afectadas pelos blocos de rega foram as culturas temporárias de sequeiro (cerca de 70%), verificando-se nestas zonas uma passagem do risco à contaminação da classe baixa para a classe alta.

Por outro lado, e tal como se pode observar na Figura 3.14, serão os sectores de Évora e de Vidigueira-Selmes os mais afectados pela presença dos blocos de rega, esperando-se nestes sectores um aumento da vulnerabilidade à contaminação.

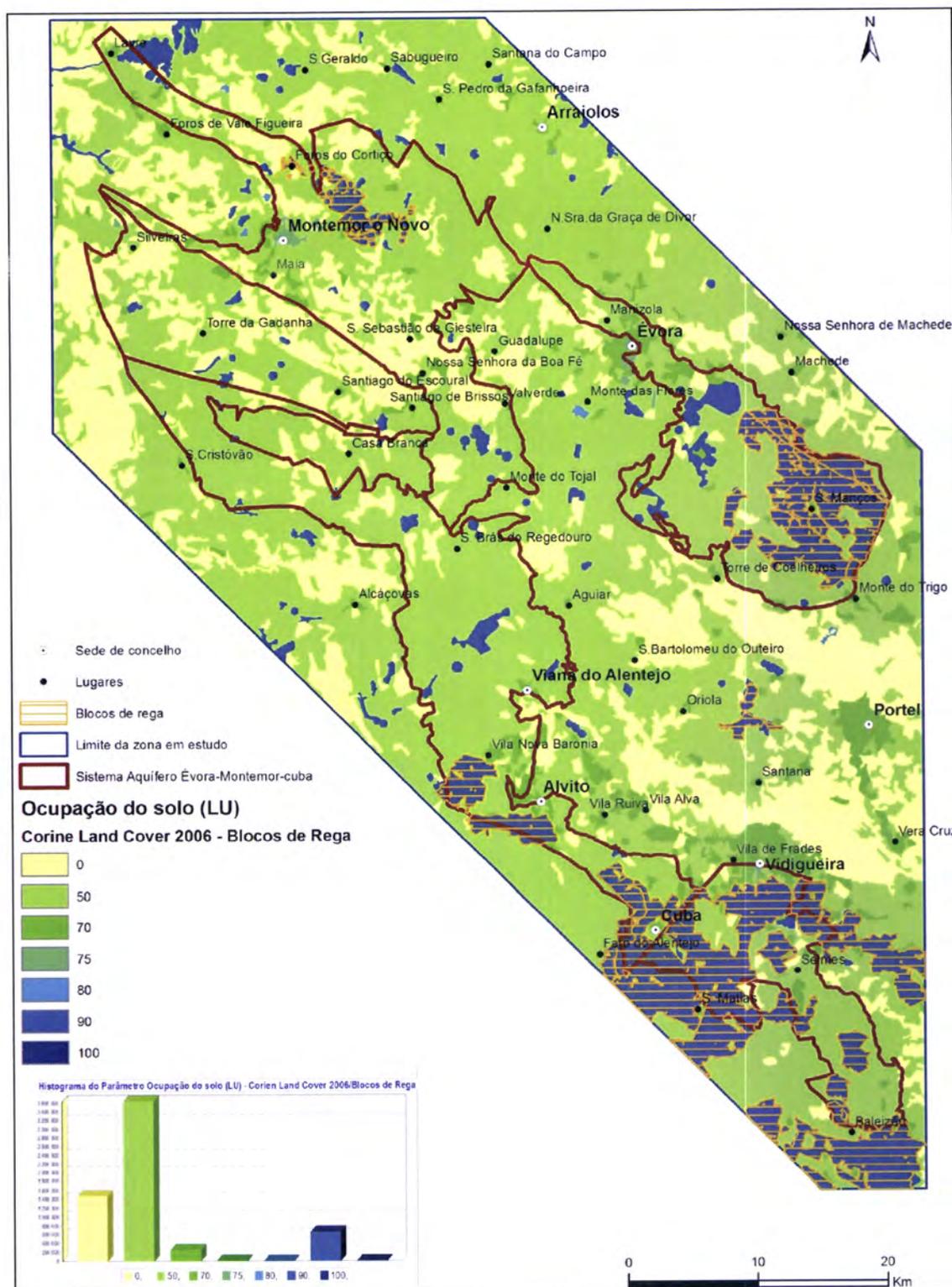


Figura 3.14 – Ocupação do solo (LU) tendo em conta a presença dos futuros blocos de rega.

3.3.2.3 – CÁLCULO FINAL DO ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDADE

Tal como foi referido anteriormente, o cálculo deste índice foi efectuado considerando o uso do solo com e sem a presença dos perímetros de rega das albufeiras de Alqueva e dos Minutos, permitindo desta forma efectuar uma comparação dentro deste índice (Tabelas 3.18 e 3.19 e Figuras 3.15 e 3.16).

Tabela 3.18 – Distribuição da percentagem do índice de Susceptibilidade, sem os blocos de rega.

Sistema Aquífero		Mediana	Média	Mín.	Máx.	% Índice de Susceptibilidade Corine Land Cover 2006					
						Extremamente baixo (≤30)	Muito baixo (30-40)	Baixo (40-50)	Moderadamente baixo (50-60)	Moderadamente alto (60-70)	Alto (70-80)
Évora-Montemor-Cuba	Sector de Évora	54	53,9	31,9	70,7	0,00	0,79	10,24	76,90	12,06	0,01
	Sector Montemor-o-Novo	48	46,2	20,9	64,8	2,85	21,41	38,04	34,97	2,73	0,00
	Sector de Cuba-S. Cristóvão	54,1	53,4	28,4	77,3	0,02	2,36	14,16	75,47	6,60	1,40
	Sector do Escourai	48	44,9	25,8	77,8	1,06	32,00	36,02	27,32	3,23	0,36
	Sector de Vidigueira-Selmes	52	52,0	27,1	71,5	0,14	2,32	28,87	63,86	4,81	0,00
Outros	Aquífero de Viana-Alvito	55,1	56,1	31,9	79,9	0,00	11,08	14,51	39,45	17,06	17,90
	Aquífero de Portel	49	48,2	29,5	73,3	0,98	23,06	26,33	43,32	5,38	0,93
	Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda	56	51,2	31,4	73,9	0,00	9,04	34,76	42,01	13,95	0,24
	Pouco Produtivo da ZOM	46,1	46,1	16,7	73,5	6,70	22,55	57,98	11,41	1,36	0,01
	Pouco Produtivo da ZSP	30	33,3	21,5	59,1	30,80	51,80	17,23	0,17	0,00	0,00
	Gabros de Beja	52	54,8	34,7	65,5	0,00	1,97	4,53	87,06	6,44	0,00

Tabela 3.19 – Distribuição da percentagem do índice de Susceptibilidade, com os blocos de rega.

Sistema Aquífero		Mediana	Média	Mín.	Máx.	% Índice de Susceptibilidade Corine Land Cover 2006 - Blocos de Rega					
						Extremamente baixo (≤30)	Muito baixo (30-40)	Baixo (40-50)	Moderadamente baixo (50-60)	Moderadamente alto (60-70)	Alto (70-80)
Évora-Montemor-Cuba	Sector de Évora	54	56,1	31,9	70,7	0,00	0,79	8,28	56,63	33,72	0,57
	Sector Montemor-o-Novo	48	46,5	20,9	64,8	2,85	21,39	37,63	32,89	5,25	0,00
	Sector de Cuba-S. Cristóvão	54,1	54,4	28,4	81,1	0,02	2,36	13,92	68,24	13,58	1,89
	Sector do Escourai	48	44,9	25,8	77,8	1,06	32,00	36,02	27,32	3,23	0,36
	Sector de Vidigueira-Selmes	56	55,4	27,1	75,9	0,12	1,92	19,90	45,70	31,71	0,64
Outros	Aquífero de Viana-Alvito	55,1	56,1	31,9	79,9	0,00	11,08	14,51	39,37	17,06	17,98
	Aquífero de Portel	49	48,2	29,5	73,3	0,98	23,06	26,33	43,32	5,38	0,93
	Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda	56	51,2	31,4	73,9	0,00	9,04	34,76	42,01	13,95	0,24
	Pouco Produtivo da ZOM	46,1	44,3	16,7	73,5	6,70	22,50	55,12	13,71	1,89	0,09
	Pouco Produtivo da ZSP	30	33,3	21,5	59,1	30,80	51,80	17,23	0,17	0,00	0,00
	Gabros de Beja	60	60,9	34,7	65,5	0,00	1,67	3,26	30,34	64,74	0,00

De acordo com os cálculos efectuados, o Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba apresenta um índice de susceptibilidade à contaminação baixo a moderadamente baixo, registando-se no entanto, no sector de Évora, cerca de 12% da sua área classificada com um índice moderadamente alto.

Os restantes aquíferos envolventes apresentam um comportamento semelhante ao Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba, com excepção do aquífero de Viana-Alvito, o qual apresenta cerca de 35% da sua área classificada com um índice de susceptibilidade moderadamente alto a alto.

Todavia, considerando a presença dos blocos de rega, os sectores de Évora e de Vidigueira-Selmes, tal como já se esperava, deixam de ser maioritariamente classificados com um índice

de susceptibilidade moderadamente baixo (77 e 64%, respectivamente), passando a ter cerca de 30% da sua área classificada com um índice moderadamente alto.

Importa ainda referir que, apesar de apenas uma pequena parcela se encontrar na zona em estudo, o aquífero dos Gabros de Beja regista um aumento considerável do índice de susceptibilidade quando se considera a presença dos blocos de rega, passando a ter cerca de 65% da sua área classificada com um índice moderadamente alto.

Da análise das Figuras 3.15 e 3.16 pode-se concluir que é notória a influência dos perímetros de rega no aumento do índice de susceptibilidade, nomeadamente nos sectores de Évora e de Vidigueira-Selmes. No entanto, com excepção do aquífero dos Gabros de Beja, o valor médio do índice de susceptibilidade nunca ultrapassa uma vulnerabilidade moderadamente baixa.

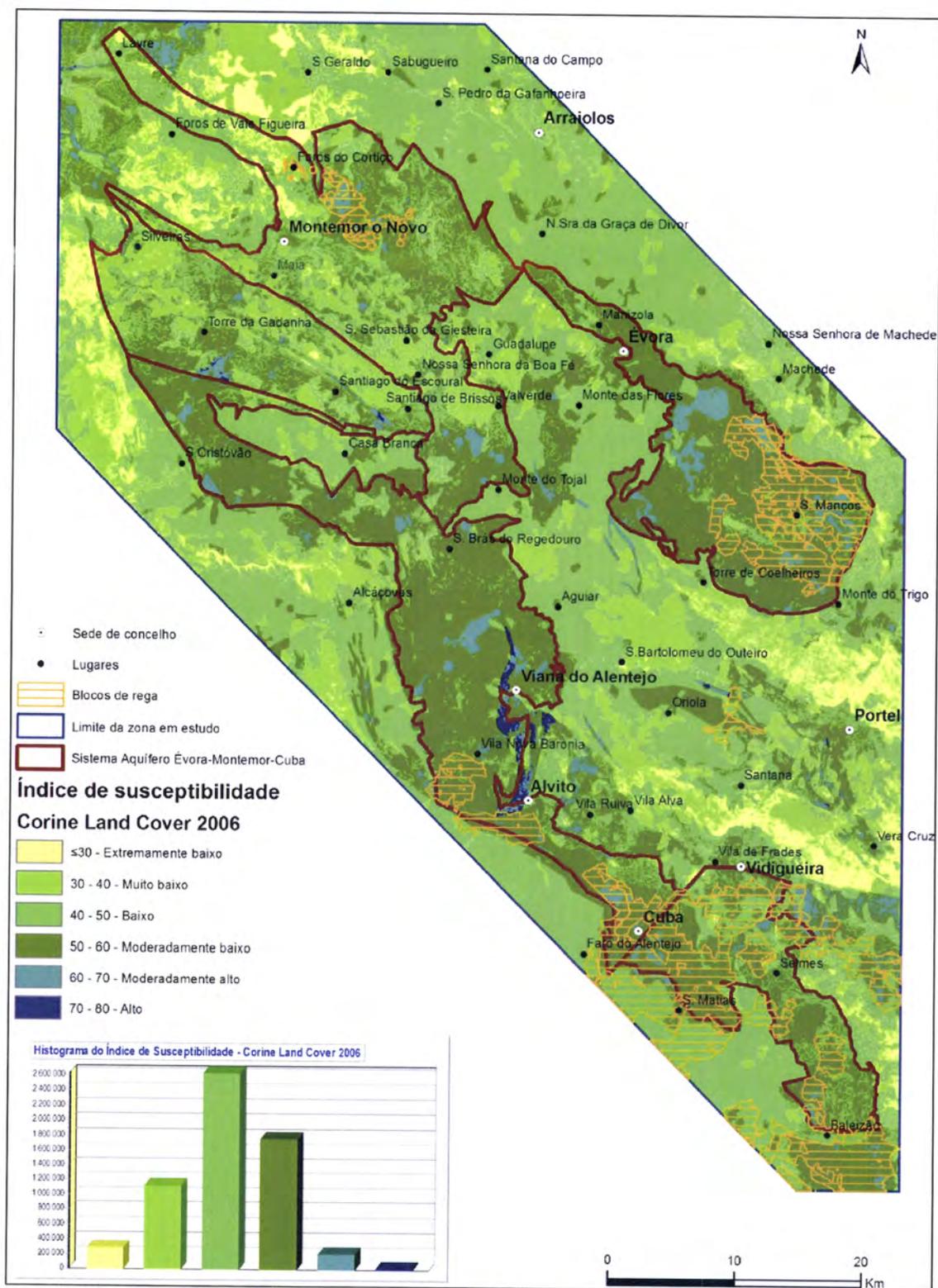


Figura 3.15 – Distribuição do índice de susceptibilidade (LU - Corine Land Cover 2006).

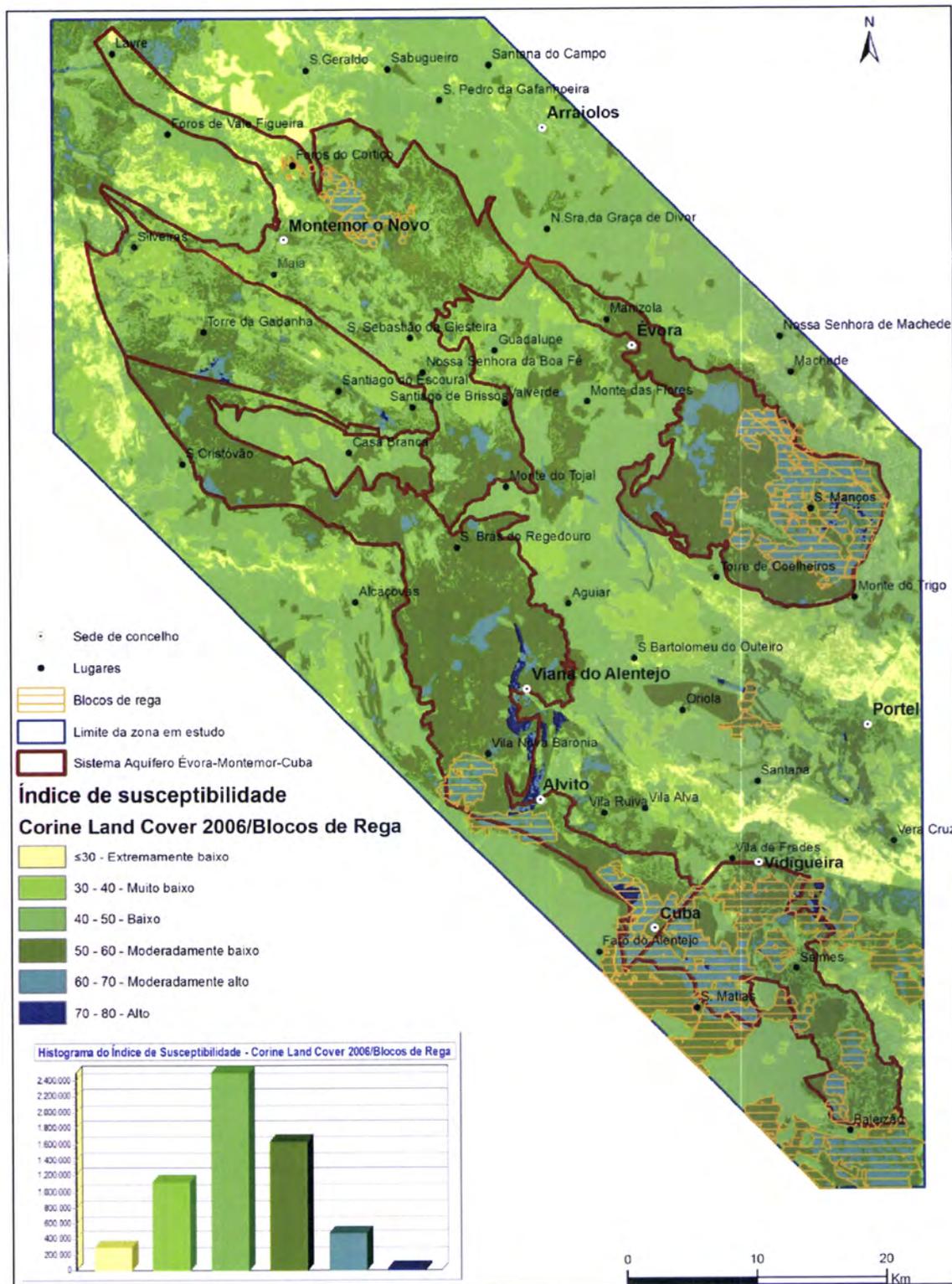


Figura 3.16 – Distribuição do índice de susceptibilidade (LU - Corine Land Cover 2006) - com blocos de rega.

3.3.3 – Índice de vulnerabilidade GOD

Este índice é calculado por multiplicação dos três factores referentes às características do aquífero (G), ao grau de consolidação da litologia (O) e ao nível aquífero (D), em que o máximo valor de vulnerabilidade é 1 (representando a vulnerabilidade máxima) e o mínimo é 0,016 (Tabela 3.20).

Tabela 3.20 – Índice de vulnerabilidade GOD, de acordo com Foster (1987).

Índice de vulnerabilidade GOD	
0,7 – 1	Extremamente alto
0,5 – 0,7	Alto
0,3 – 0,5	Moderado
0,1 – 0,3	Baixo
0 – 0,1	Desprezível

A cada factor é atribuído um índice e o índice final calcula-se multiplicando esses três índices, recorrendo-se à metodologia sistematizada na Figura 3.17.

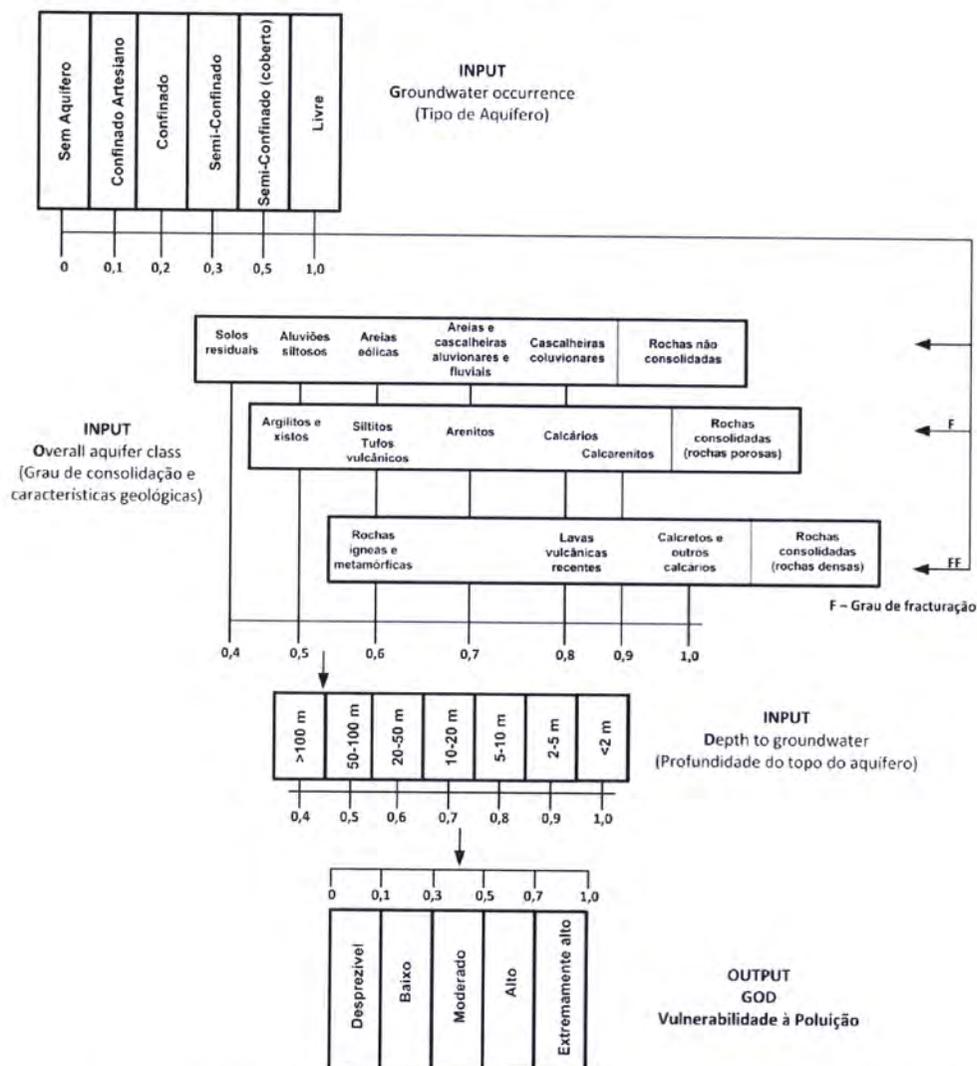


Figura 3.17 – Esquema da metodologia usada para calcular o índice de vulnerabilidade GOD. (Adaptado de Simsek et al., 2008)

A análise a esta figura mostra, para além de todos os passos seguidos na determinação do índice de vulnerabilidade GOD, os 3 diferentes parâmetros que constituem este índice e que, segundo Foster (1987) podem ser descritos como:

- A ocorrência de águas subterrâneas (**G**roundwater occurrence) – tipo de aquífero;
- A classe global do aquífero (**O**verall aquifer class) – no que respeita ao grau de consolidação e características geológicas;
- A profundidade do nível freático ou a espessura do tecto do aquífero (**D**epth to groundwater table or strike).

3.3.3.1 – G – TIPO DE AQUÍFERO

Para o cálculo deste parâmetro recorreu-se à Tabela 3.21 para classificar os aquíferos presentes na área em estudo:

Tabela 3.21 - Valores para o parâmetro G, de acordo com Foster (1987).

G - Tipo de aquífero	Valor
Sem aquífero	0
Confinado artesiano	0,1
Confinado	0,2
Semi confinado	0,3
Semi confinado (coberto)	0,5
Livre	1

Consideraram-se todos os aquíferos presentes na área de estudo como livres, atribuindo por isso o índice 1.

3.3.3.2 – O – CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS

Este parâmetro foi calculado tendo em conta a Tabela 3.22, na qual se classifica o parâmetro O de acordo com as diferentes características litológicas dos aquíferos:

Tabela 3.22 – Classificação do parâmetro O, de acordo com Foster (1987).

O - Características litológicas	Valor
Rochas não consolidadas	
Solos residuais	0,4
Aluviões siltsosos	0,5
Areias eólicas	0,6
Areias e cascalheiras aluvionares e fluviais	0,7
Cascalheiras coluvionares	0,8
Rochas consolidadas (rochas porosas)	
Argilitos e xistos	0,5
Siltitos	0,6
Tufos vulcânicos	0,6
Arenitos	0,7
Calcários e Calcarenitos	0,9
Rochas consolidadas (rochas densas)	
Rochas ígneas e metamórficas	0,6
Lavas vulcânicas recentes	0,8
Calcretos e outros calcários	1

Desta forma, aplicaram-se os valores do parâmetro O constantes nesta tabela para as diferentes classes litológicas presentes na zona em estudo, resultando assim a Figura 3.18.

Nesta figura pode-se observar que a maioria das formações geológicas presentes são constituídas por rochas ígneas e metamórficas (granitos, granodioritos, xistos, gabros, tonalitos, entre outros) e cujo potencial para atenuação da poluição é moderado.

Por outro lado, surgem algumas formações carbonatadas, nomeadamente nos aquíferos de Viana Alvito e Portel, que aumentam o risco de contaminação das águas subterrâneas.

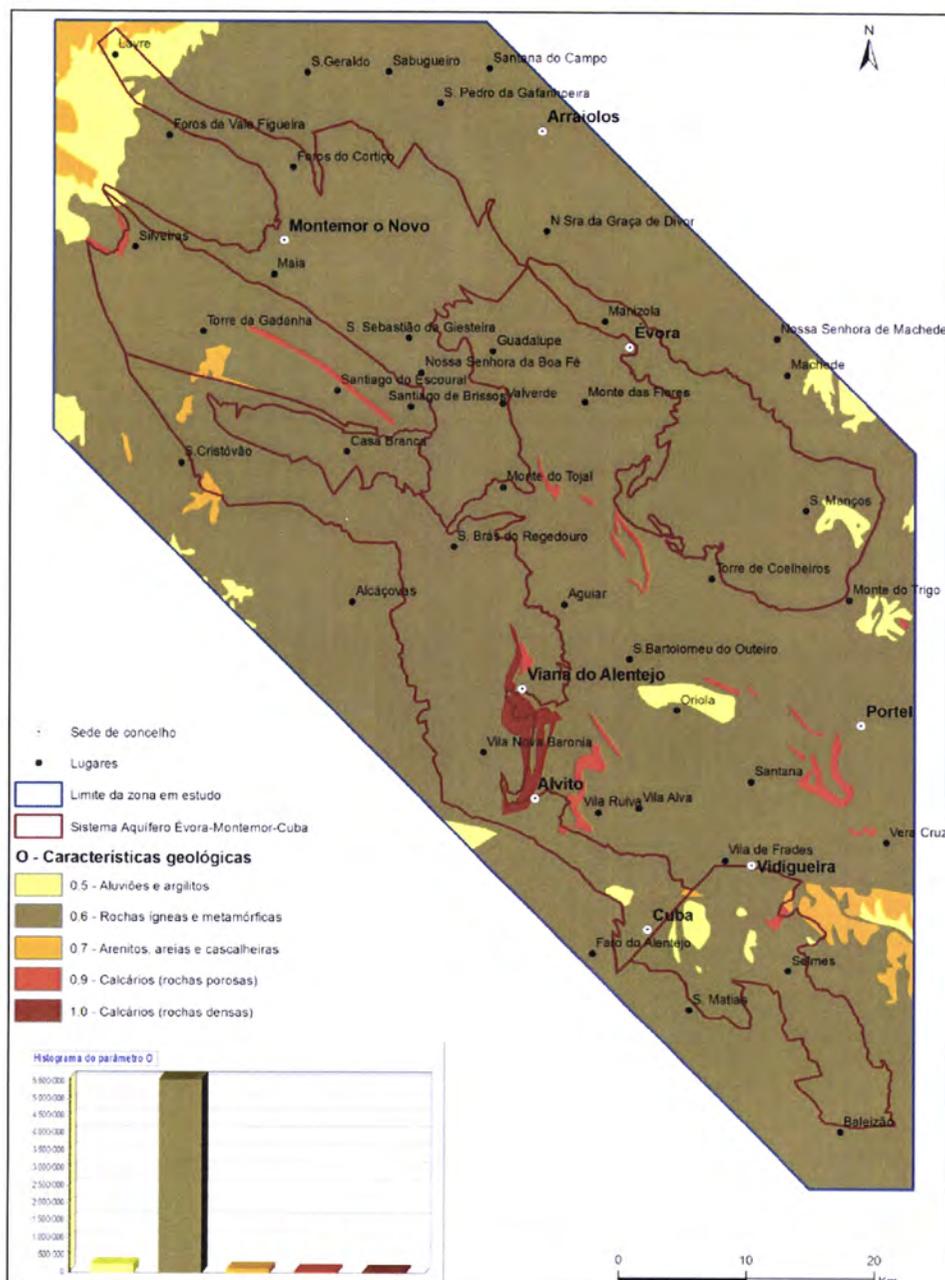


Figura 3.18 – Distribuição das características geológicas de acordo com índice GOD.

3.3.3.3 – D – PROFUNDIDADE DO TOPO DO AQUIFERO

Para o cálculo deste parâmetro recorreu-se ao valor de D calculado para o índice de vulnerabilidade DRASTIC e reclassificou-se o mesmo de acordo com a Tabela 3.23.

Tabela 3.23 – Classificação do parâmetro D, de acordo com Foster (1987) in Artuso et al. (2004).

D - Profundidade da água (m)	Valor
>100	0,4
50-100	0,5
20-50	0,6
10-20	0,7
5-10	0,8
2-5	0,9
<2	1

Assim, e tendo por base a tabela anterior, foi possível determinar a distribuição espacial da profundidade do topo do aquífero de acordo com as especificações do índice de vulnerabilidade GOD. Os resultados obtidos são muito semelhantes aos calculados quer para o índice DRASTIC quer para o Índice de Susceptibilidade, ou seja, o nível piezométrico encontra-se, na maioria da zona em estudo, muito próximo da superfície, o que potencia o risco de contaminação dos aquíferos.

3.3.3.4 – CÁLCULO FINAL DO ÍNDICE GOD

De acordo com a metodologia apresentada na Figura 3.17 e tendo em conta os diferentes índices atribuídos aos 3 parâmetros que constituem o índice GOD, efectuou-se então o cálculo do mesmo de acordo com a expressão:

$$GOD = G \times O \times D \quad (3)$$

Assim, foi então possível obter a Tabela 3.24, na qual se apresenta a percentagem do índice GOD pelos diferentes aquíferos presentes na zona em estudo, e a Figura 3.19, a qual permite observar a distribuição espacial do índice.

Tabela 3.24 – Distribuição da percentagem do índice de vulnerabilidade GOD.

Sistema Aquífero		Mediana	Média	Min.	Máx.	% Índice de Vulnerabilidade GOD				
						Desprezível	Baixo	Moderado	Alto	Extremamente alto
Évora-Montemor-Cuba	Sector de Évora	0,54	0,55	0,45	0,60	0,00	0,00	2,59	97,41	0,00
	Sector Montemor-o-Novo	0,54	0,53	0,35	0,60	0,00	0,00	28,47	71,53	0,00
	Sector de Cuba-S. Cristóvão	0,54	0,58	0,45	1,00	0,00	0,00	1,91	95,18	2,92
	Sector do Escoural	0,54	0,54	0,40	0,90	0,00	0,00	25,28	71,45	3,27
	Sector de Vidigueira-Selmes	0,54	0,52	0,35	0,63	0,00	0,00	25,91	74,10	0,00
Outros	Aquífero de Viana-Alvito	0,90	0,76	0,54	1,00	0,00	0,00	0,00	42,76	57,24
	Aquífero de Portel	0,60	0,68	0,54	0,90	0,00	0,00	0,00	68,56	31,45
	Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda	0,35	0,40	0,35	0,72	0,00	0,00	70,93	29,07	0,00
	Pouco Produtivo da ZOM	0,54	0,55	0,35	0,90	0,00	0,00	13,81	85,23	0,96
	Pouco Produtivo da ZSP	0,54	0,54	0,40	0,70	0,00	0,00	8,46	91,52	0,01
	Gabros de Beja	0,54	0,54	0,54	0,54	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00

A análise, tanto à Tabela 3.24 como à Figura 3.19, permite concluir que a maior parte da zona em estudo apresenta um índice GOD alto, com excepção da zona NW e em cerca de 26% da área dos sectores do Escoural e de Vidigueira-Selmes onde o índice é moderado; pontualmente surgem valores extremamente altos e correspondentes a formações calcárias, nomeadamente nos aquíferos de Viana-Alvito e Portel.

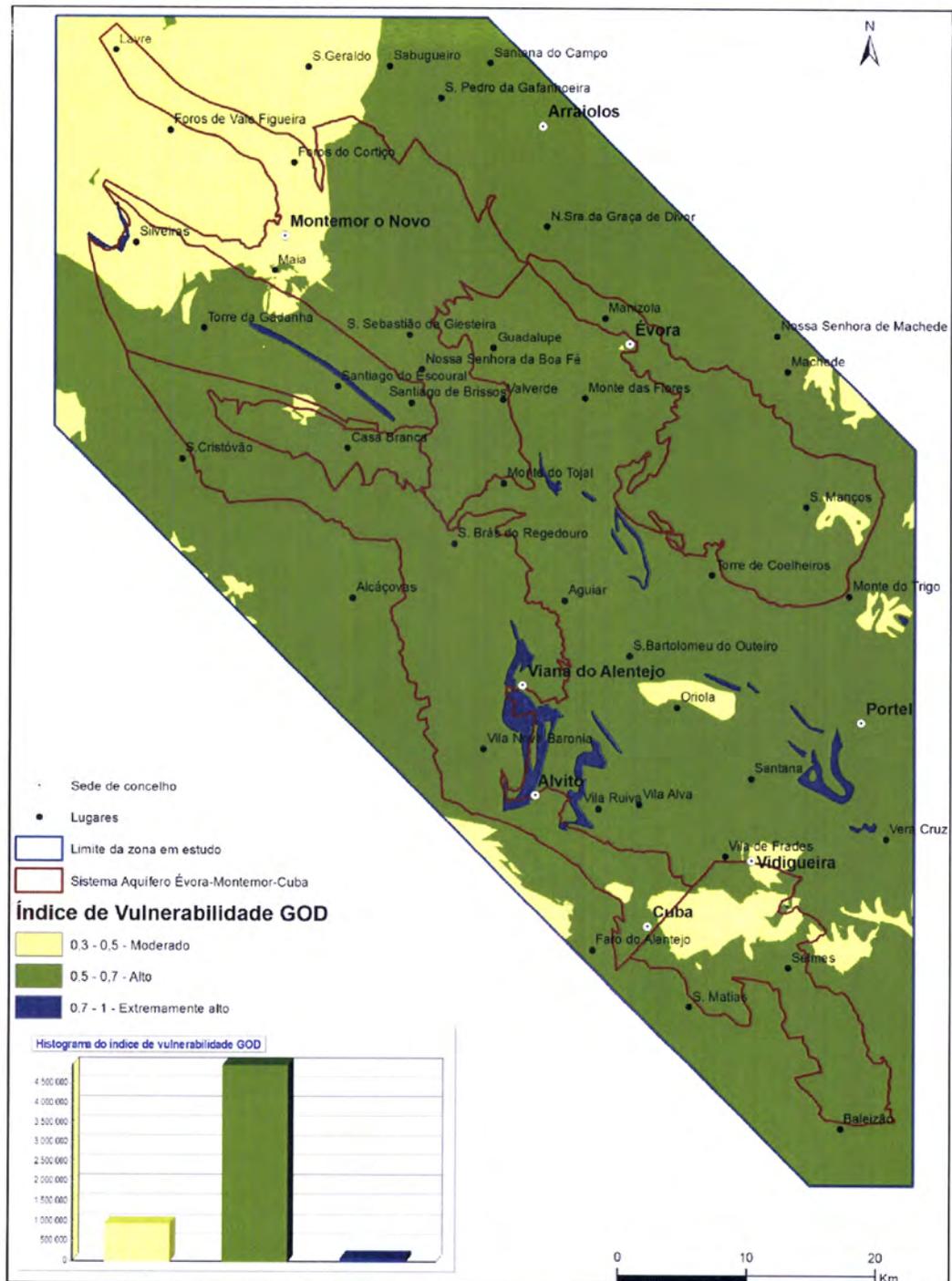


Figura 3.19 – Índice de vulnerabilidade GOD.

3.3.6 – Índice de vulnerabilidade EPPNA

Este método foi proposto em 1998 pela Equipa de Projecto do Plano Nacional da Água (EPPNA) no documento “*Informação Cartográfica dos Planos de Bacia. Sistematização das Figuras e Cartas a Imprimir em Papel*” EPPNA (1998) in Artuso *et al.* (2004).

Segundo este método, a cada formação litológica/hidrogeológica é atribuída uma classe de vulnerabilidade de acordo com a Tabela 3.25.

Tabela 3.25 – Classes de vulnerabilidade segundo o método EPPNA. (Adaptado de Artuso *et al.* (2004))

Classe	Vulnerabilidade à poluição
V1 – Aquíferos em rochas carbonatadas de elevada carsificação	Alto
V2 – Aquíferos em rochas carbonatadas de carsificação média a alta	Média a alta
V3 – Aquíferos em sedimentos não consolidados com ligação hidráulica com a água superficial	Alta
V4 - Aquíferos em sedimentos não consolidados sem ligação hidráulica com a água superficial	Média
V5 – Aquíferos em rochas carbonatadas	Média a baixa
V6 – Aquíferos em rochas fissuradas	Baixa a variável
V7 – Aquíferos em sedimentos consolidados	Baixa
V8 – Inexistência de aquíferos	Muito baixa

Desta forma, tendo em conta a tabela anterior, foi possível construir a Tabela 3.26 na qual se apresentam as diferentes classes de vulnerabilidades aplicadas à zona em estudo.

Tabela 3.26 – Classes de vulnerabilidade segundo o método EPPNA para os aquíferos da zona em estudo.

Sistema Aquífero	Classe	Vulnerabilidade à poluição
Évora-Montemor-Cuba:		
Sector de Évora	V6	Baixa a variável
Sector de Montemor-o-Novo		
Sector de Cuba-S. Cristóvão		
Sector do Escoural		
Sector de Vidigueira-Selmes		
Outros:		
Aquífero de Viana -Alvito	V2	Média a alta
Aquífero de Portel		
Bacia do Tejo-Sado / Margem Esquerda	V7	Baixa
Pouco Produtivo da ZOM	V6	Baixa a variável
Pouco Produtivo da ZSP		
Gabros de Beja		

Assim, apresenta-se na Figura 3.20 a distribuição espacial da vulnerabilidade à poluição dos diferentes aquíferos da zona em estudo, de acordo com o método EPPNA.

O mapa da vulnerabilidade apresentado mostra a maioria dos sistemas aquíferos classificados com a classe V6 (Baixa a variável), com excepção dos aquíferos de Viana-Alvito e Portel que são classificados com uma vulnerabilidade média a alta.

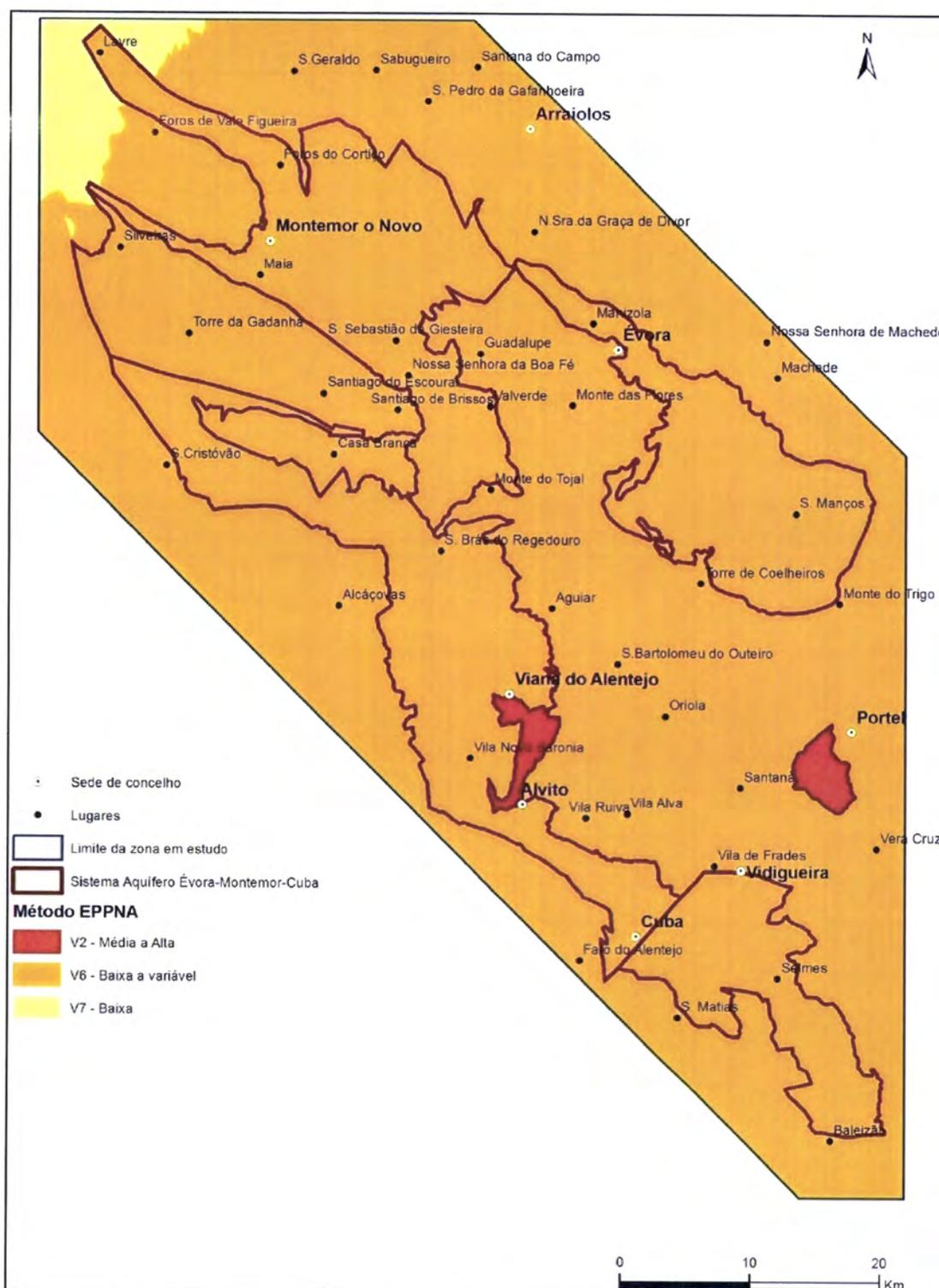


Figura 3.20 – Método EPPNA para os aquíferos da zona em estudo.

CAPÍTULO 4 – ANÁLISE COMPARATIVA E AVALIAÇÃO DOS DIFERENTES MÉTODOS UTILIZADOS

4.1 – Objectivos do capítulo

Este capítulo tem por objectivo efectuar uma análise comparativa dos diferentes métodos utilizados para o cálculo da vulnerabilidade à contaminação, apenas para o Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba, e proceder a uma avaliação dos resultados obtidos, comparando os valores de concentração de nitratos com o Índice de Susceptibilidade (IS) calculado.

4.2 - Análise comparativa dos diferentes métodos utilizados

Para efectuar a comparação entre os diferentes métodos, extraiu-se uma malha regular de 1000 x 1000 metros dos valores obtidos apenas para o Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba, tornando desta forma o cálculo mais leve.

Esta comparação apenas incide nos métodos gerais e não nos específicos, como o DRASTIC para pesticidas e o IS considerando os perímetros de rega.

Assim, obteve-se a matriz de correlação constante da Figura 4.1.

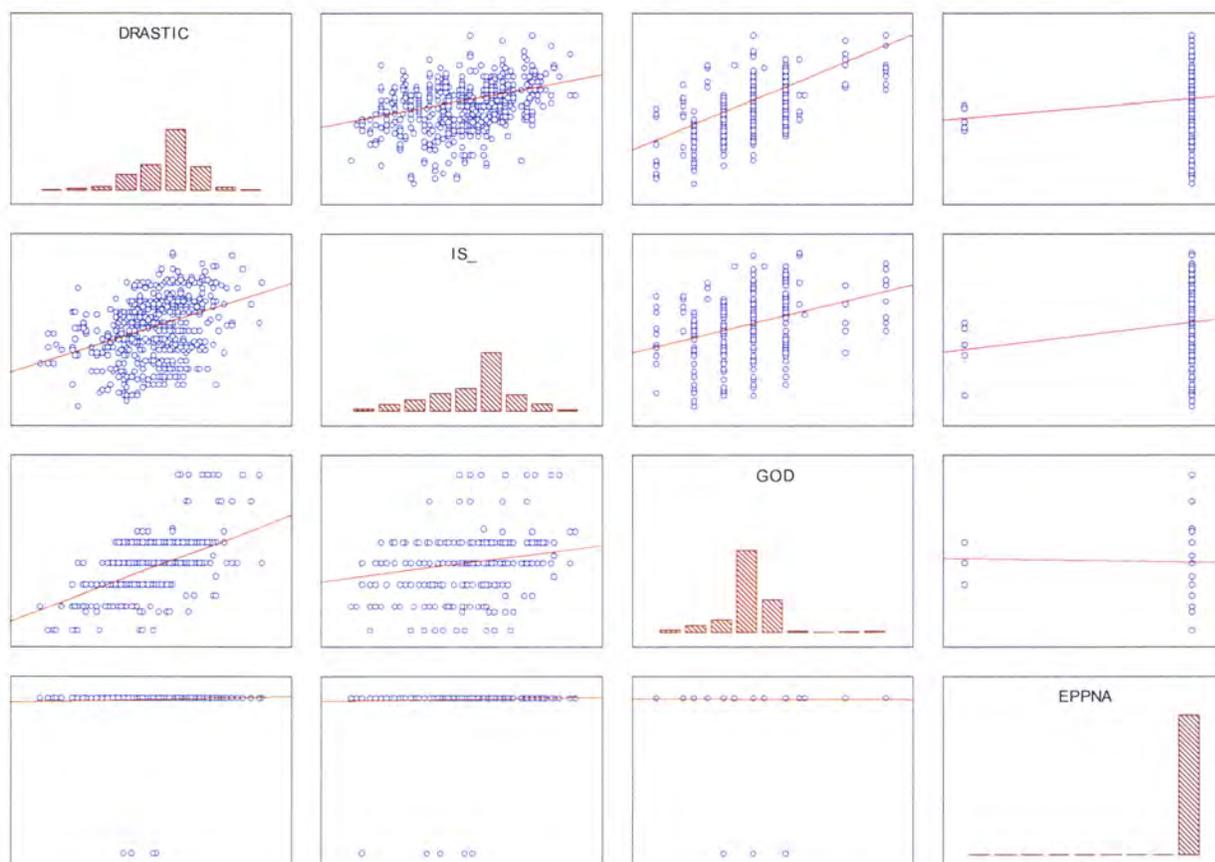


Figura 4.1 – Matriz de correlação entre os métodos DRASTIC, IS, GOD e EPPNA.

Da observação desta figura pode-se concluir que não existe uma clara correlação entre o método DRASTIC e o IS, dado que as variáveis consideradas no método DRASTIC e não consideradas no IS (Influência da Zona Vadosa, Tipo de Solo e Condutividade Hidráulica) são uma redundância à variável material do aquífero, pelo que o uso do solo considerado no IS é o principal responsável pela falta de correlação.

Relativamente ao método GOD, este apresenta alguma correlação com o método DRASTIC, dadas as semelhanças entre as suas variáveis. Por outro lado, uma vez mais não parece haver uma relação clara com o IS, pelas mesmas razões apontadas entre o IS e o DRASTIC.

A análise à Figura 4.1 mostra ainda que, e tal como se referiu no capítulo anterior, utilizando o método EPPNA para o Aquífero de Évora-Montemor-Cuba apenas resultam dois valores de vulnerabilidade (V2 e V7); deste facto resulta uma ausência de correlação entre o método EPPNA e os restantes.

Face ao exposto, dada a falta de uma clara correlação entre os diferentes métodos, não é possível concluir se as diferenças entre eles se resumem a uma maior ou menor sensibilidade dos métodos ao cálculo da vulnerabilidade.

4.3 – Avaliação dos resultados obtidos

De forma a efectuar uma avaliação dos resultados obtidos pelos diferentes métodos para o cálculo da vulnerabilidade à contaminação do sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba, efectuou-se uma comparação entre os valores de concentração de nitratos analisados no decurso do projecto ERHSA (Figura 4.2) e o Índice de Susceptibilidade (IS) calculado no presente trabalho (uma vez que apenas este índice entra em linha de conta com o uso do solo).

A projecção dos resultados apresentada na Figura 4.3, onde os pontos de água são representados pela sua tipologia (furos e poços/nascentes), mostra que existe uma baixa correlação entre a concentração de nitratos existente nas águas provenientes das captações e o respectivo IS. Não se identificam diferenças pelo facto de serem captações mais profundas ou mais superficiais.



Figura 4.2 – Pontos de água inventariados no projecto ERHSA com dados de concentração de nitratos.

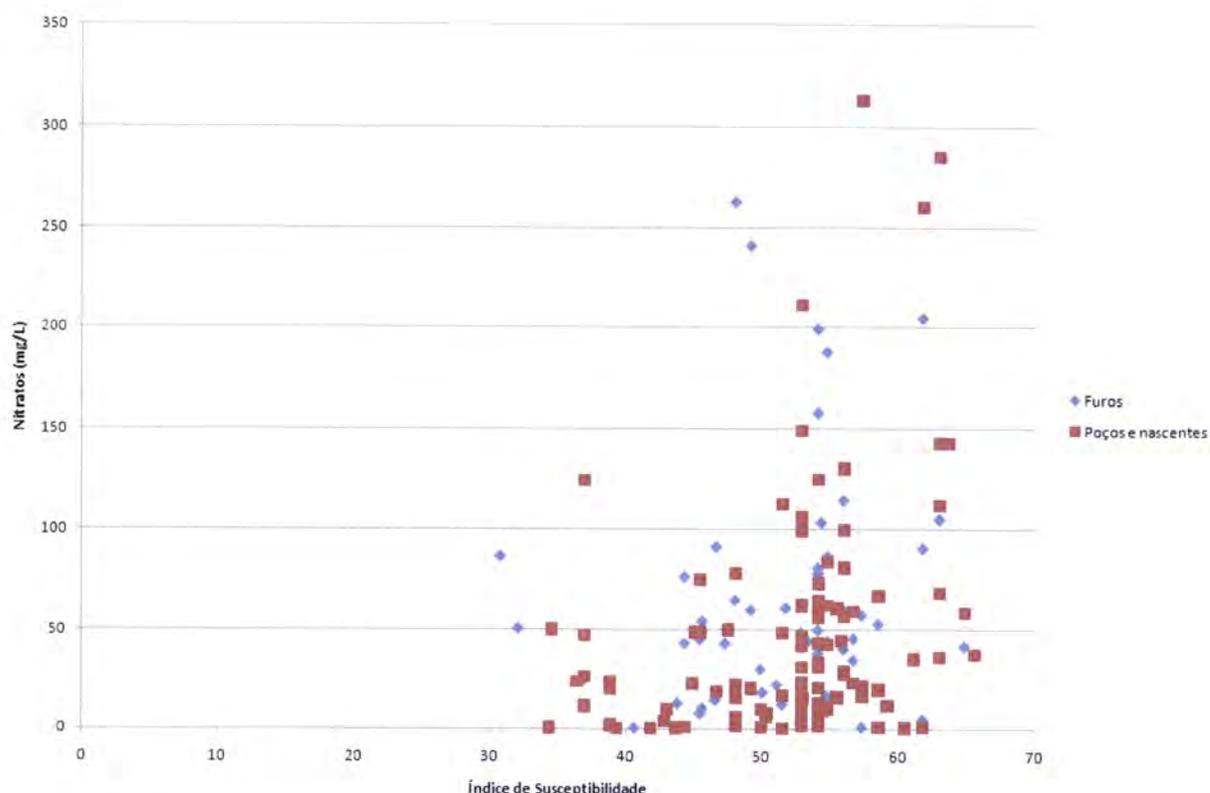


Figura 4.3 – Correlação entre a concentração de nitratos (mg/L) e o Índice de Susceptibilidade obtido.

Apesar da correlação ser reduzida, nota-se no entanto, alguma tendência para valores mais elevados quando o valor de IS é superior. Todavia, verifica-se que existem muitos pontos em zonas em que o IS é elevado e que apresentam valores praticamente nulos de concentração de nitratos. Esta constatação pode ser consequência de diversos factores:

- O IS foi calculado com base na ocupação de solo definida pelo CORINE Land Cover 2006, cuja informação se reporta a duas coberturas referentes aos períodos de Primavera e Verão de 2006, obtidas pelos satélites SPOT-4, SPOT-5 e IRS-P6 LISS III;
- Os dados de concentração de nitratos foram recolhidos durante campanhas efectuadas entre 1998 e 2000;
- Vários trabalhos demonstram que, nas zonas classificadas como sequeiro, o espaço temporal em que a amostra de água é recolhida determina as concentrações de nitratos encontradas (alturas de maior ou menor precipitação, na sequência de adubações, etc.).

Estes três factores, e os resultados obtidos no gráfico da Figura 4.3, possibilitam algumas reflexões sobre algum grau de aleatoriedade visível no gráfico:

- Os tempos das colheitas dos dados de concentração de nitratos e da ocupação do solo, embora não muito afastados no tempo, não são coincidentes;

- As colheitas de amostras para análise dos nitratos decorreram durante vários anos e em épocas sazonais distintas, pelo que o grau de concentração e de diluição dos nitratos pode variar de forma significativa de amostra para amostra;

O IS é uma ferramenta extremamente útil para ter uma visão espacial do território do ponto de vista da sua vulnerabilidade quando associada aos usos do solo. No entanto, a complexidade dos sistemas naturais é sempre maior do que as simplificações necessárias para se poderem utilizar as ferramentas que permitem calcular estes Índices, existindo permanentemente imprecisões associadas a estes cálculos.

CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 - Enquadramento da metodologia proposta

A utilização dos recursos hídricos subterrâneos no Alentejo tem assumido, ao longo dos anos, uma importância histórica, imposta pelas suas condições climáticas, tendo-se verificado, nas últimas quatro décadas, com a rápida evolução da tecnologia de perfuração, a construção de captações subterrâneas em tempo cada vez menor, atingindo profundidades progressivamente crescentes. Este facto conduziu a situações de má utilização de sistemas aquíferos, com reflexos negativos na sua produtividade e na qualidade da água captada.

Do ponto de vista hidrogeológico, na zona em estudo, existem aquíferos de importância local ou regional (Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba, os aquíferos carbonatados de Viana-Alvito e Portel, o aquífero dos Gabros de Beja), que se destacam num ambiente geral caracterizado por produtividades baixas, e cuja pressão na utilização dos seus recursos tem aumentado exponencialmente nos últimos anos (abastecimento público, rega, indústria, etc.).

No caso do Alentejo, vários estudos de qualidade das águas subterrâneas denunciam a contaminação por nitratos, pesticidas, herbicidas e fertilizantes, com origem na poluição difusa de origem agrícola, a que acresce o aumento da agricultura de regadio potenciado pela crescente disponibilização de água superficial proporcionada através de diversos blocos de rega.

Neste contexto, constatou-se que era preciso desenvolver um estudo para caracterizar a vulnerabilidade à contaminação do Sistema Aquífero de Évora Montemor Cuba., especificamente através:

- Da análise de diversas metodologias para a caracterização da vulnerabilidade à contaminação em aquíferos fissurados (Índices DRASTIC, IS, GOD e EPPNA);
- Da avaliação do impacte do perímetro de rega de Alqueva na vulnerabilidade do aquífero;
- Da análise comparativa dos diversos métodos aplicados.

5.2 - Resultados alcançados

No primeiro capítulo deste trabalho definiram-se os objectivos a alcançar e que em termos sintéticos apontam para a caracterização da vulnerabilidade à contaminação do Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba recorrendo a diferentes métodos empíricos.

Embora, como é compreensível e como adiante será referido, se evidenciem algumas limitações que futuros estudos poderão atenuar e afinar, considera-se que, globalmente, os resultados obtidos cumprem os objectivos inicialmente definidos.

De facto, a elaboração deste trabalho permitiu aplicar alguns métodos de avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação para a zona em estudo, nomeadamente o índice DRASTIC, o Índice de Susceptibilidade, o índice GOD e o método EPPNA.

A aplicação do índice de vulnerabilidade DRASTIC permitiu concluir que o Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba apresenta a maioria da sua área classificada com um índice de vulnerabilidade à contaminação baixo, para poluentes em geral. Todavia, no que se refere à vulnerabilidade à contaminação por pesticidas, o índice avançou uma classe, isto é, o Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba passou maioritariamente a ser classificado como moderadamente baixo a alto, registando um valor médio correspondente a uma vulnerabilidade moderadamente alta. Por outro lado, os aquíferos carbonatados apresentam grande parte da sua área classificada com um índice DRASTIC moderadamente alto a alto.

Relativamente ao índice de susceptibilidade, o cálculo foi efectuado tendo em conta a presença e a ausência dos blocos de rega das albufeiras de Alqueva e dos Minutos, permitindo assim uma comparação dentro do índice. Assim, não considerando a presença destes perímetros, o Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba apresenta um índice de susceptibilidade à contaminação baixo a moderadamente baixo, registando-se no entanto, no sector de Évora, cerca de 12% da sua área classificada com um índice moderadamente alto.

Os restantes aquíferos envolventes apresentam um comportamento semelhante ao Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba, com excepção do aquífero de Viana-Alvito, o qual apresenta cerca de 35% da sua área classificada com um índice de susceptibilidade moderadamente alto a alto.

Por outro lado, considerando a presença dos blocos de rega, os sectores de Évora e de Vidigueira-Selmes deixam de ser maioritariamente classificados com um índice moderadamente baixo passando a ter cerca de 30% da sua área classificada com um índice moderadamente alto.

Desta forma, pode-se concluir que é notória a influência dos perímetros de rega no aumento do índice de susceptibilidade, nomeadamente nos sectores de Évora e de Vidigueira-Selmes.

No que se refere aos dados obtidos através do índice de vulnerabilidade GOD, conclui-se que a zona em estudo apresenta um índice GOD alto, com excepção da zona NW, onde o índice é moderado; pontualmente surgem valores extremamente altos, nomeadamente nos aquíferos de Viana-Alvito e Portel e nos calcários dolomíticos situados a oeste do aquífero de Viana Alvito.

Finalmente, a mapa da vulnerabilidade calculado com recurso ao método EPPNA, mostra a maioria dos sistemas aquíferos classificados com a classe V6 (Baixa a variável), com excepção dos aquíferos de Viana-Alvito e Portel, que são classificados com uma vulnerabilidade média a alta.

Relativamente à análise comparativa efectuada para os diferentes métodos utilizados, incidindo apenas nos métodos gerais e não nos específicos, verificou-se que não existe uma clara correlação entre os diferentes métodos, não sendo possível concluir se as diferenças entre eles se resumem a uma maior ou menor sensibilidade dos métodos ao cálculo da vulnerabilidade.

Acresce ainda que existe uma baixa correlação entre a concentração de nitratos existente nas águas provenientes de captações e o respectivo IS, não se identificando diferenças pelo facto de serem captações mais profundas ou mais superficiais. No entanto, apesar da correlação ser reduzida, nota-se alguma tendência para valores mais elevados quando o valor de IS é superior.

Todavia, verifica-se que existem muitos pontos em zonas em que o IS é elevado e que apresentam valores praticamente nulos de concentração de nitratos, podendo esta constatação ser consequência de diversos factores: o facto do IS ter sido calculado com base na ocupação de solo definida pelo CORINE Land Cover 2006 (cuja informação se reporta aos períodos de Primavera e Verão de 2006), o facto dos dados de concentração de nitratos terem sido recolhidos durante campanhas efectuada entre 1998 e 2000 e o facto de diversos trabalhos terem demonstrado que, nas zonas classificadas como sequeiro, o espaço temporal em que a amostra de água é recolhida determina as concentrações de nitratos encontradas (alturas de maior ou menor precipitação, na sequência de adubações, etc.).

Estes três factores possibilitam algumas reflexões sobre algum grau de aleatoriedade visível no gráfico da Figura 4.3:

- Os tempos das colheitas dos dados de concentração de nitratos e da ocupação do solo, embora não muito afastados no tempo, não são coincidentes;
- As colheitas de amostras para análise dos nitratos decorreram durante vários anos e em épocas sazonais distintas, pelo que o grau de concentração e de diluição dos nitratos pode variar de forma significativa de amostra para amostra;

Por último, com o presente trabalho pode-se concluir que o IS é uma ferramenta extremamente útil para ter uma visão espacial do território do ponto de vista da sua vulnerabilidade quando associada aos usos do solo. No entanto, a complexidade dos sistemas naturais é sempre maior do que as simplificações necessárias para se poderem utilizar as ferramentas que permitem calcular estes Índices, existindo permanentemente imprecisões associadas a estes cálculos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, A.A. (2009), Using Generic and Pesticide DRASTIC GIS-based models for vulnerability assessment of the Quaternary aquifer at Sohag, Egypt. *Hydrogeology Journal*, 17 (5): 1203-1217.
- Aller, L., Bennet, T., Lehr, J.H. e Petty, R. J. (1987), *DRASTIC: A Standardized System To Evaluate Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings*. United States Environmental Protection Agency, Report 600/2-85/018.
- Almeida, C., Mendonça, J., Jesus, M. e Gomes, A. (2000), *Sistemas Aquíferos de Portugal Continental*, Relatório INAG, Lisboa.
- Artuso, E., Oliveira, M.M. e Lobo Ferreira, J.P. (2004), Avaliação da Vulnerabilidade à Poluição das Águas Subterrâneas do Sector de Évora do Sistema Aquífero de Évora-Montemor-Cuba. In *Água Subterrânea - Aquíferos Costeiros e Aluviões, Vulnerabilidade e Aproveitamento*, editado por Ed. Universitária da UFPE (Recife), pp. 277-321.
- Batista, S. (2003), *Exposição da água subterrânea a pesticidas e nitratos em ecossistemas agrícolas do Ribatejo oeste e da Beira Litoral*. Dissertação de Doutoramento, ISA-UTL, Lisboa.
- Chambel, A., Duque, J. e Nascimento, J. (2007), Regional study of hard rock aquifers in Alentejo, South Portugal: methodology and results. In *Groundwater in Fractured Rocks - IAH Selected Papers Volume 9*, editado por Jirí Krásný e John M Sharp Eds, Taylor & Francis Group, pp. 73-93.
- Chambel, A., Duque, J., Matoso, A. e Orlando, M. (2006), Hidrogeologia em Portugal Continental. *Boletín Geológico y Minero*, JJ Durán Ed, 117 (1): 163-185.
- Chitsazan, M. e Akhtari, Y. (2008), A GIS-based DRASTIC Model for Assessing Aquifer Vulnerability in Kherran Plain, Khuzestan, Iran. *Water Resources Management*, 23 (6): 1137-1155.
- Condeça, J. (2004), *Modelação da Intrusão Salina no Sector Tróia-Melides*. Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.

- Draoui, M., Vias, J., Andreo, B., Targuisti, K. e Messari, J. (2007), A comparative study of four vulnerability mapping methods in a detritic aquifer under mediterranean climatic conditions. *Environmental Geology*, 54 (3): 455-463.
- Duque, J. (2005), *Hidrogeologia do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja*. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- ERHSA (2001), Relatório do projecto "Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Alentejo" Comissão de Coordenação da Região Alentejo, Évora.
- Esteves Costa, F. (1994), *Notícia Explicativa das folhas 7 e 8 da Carta Hidrogeológica de Portugal à escala 1/200 000*. Instituto Geológico e Mineiro, Departamento de Hidrogeologia, Lisboa.
- Foster, S. (1987), Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. In *Proceedings of the Waegeningh VvDaHHv (ed) International Conference held in the Netherlands*, TNO Committee on Hydrological Research, Delft, The Netherlands.
- Gogu, R.C. e Dassargues, A. (2000), Current trends and future challenges in groundwater vulnerability assessment using overlay and index methods. *Environmental Geology*, 39(6): 549-559.
- Gogu, R.C., Hallet, V. e Dassargues, A. (2003), Comparison of aquifer vulnerability assessment techniques. Application to the Néblon river basin (Belgium). *Environmental Geology*, 44 (8): 881-892.
- Hirata, R. e Rebouças, A. (1999), La protección de los recursos hídricos subterráneos: una visión integrada, basada en perímetros de protección de pozos y vulnerabilidade de acuíferos. *Boletín Geológico y Minero*, 110(4): 423-436.
- Leitão, T. (1997), *Metodologias para a Reabilitação de Aquíferos Poluídos*. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Leitão, T., Lobo Ferreira, J.P., Oliveira, M.M. e Moinante, M. J. (2003), Poluição de Águas Subterrâneas: Principais Problemas, Processos de Prevenção e de Reabilitação. In *Proceedings of the 6º SILUSBA - 6º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa*, Cabo Verde, 10 a 13 de Novembro 2003.
- LNEC (1997), *Cartografia Automática da Vulnerabilidade de Aquíferos com Base na Aplicação do Método DRASTIC - Relatório Final*. LNEC, Relatório 60/97 GIAS, Lisboa.

- LNEC (2002), *Assessment of Groundwater Vulnerability to Pollution Using Six Different Methods: AVI, GOD, DRASTIC, SI, EPPNA and SINTACS - Application to the Évora Aquifer*. LNEC, Relatório 184/02 GIAS, Lisboa.
- Lobo Ferreira, J.P. (1998), Vulnerabilidade à Poluição de Águas Subterrâneas: Fundamentos e Conceitos para uma Melhor Gestão e Protecção dos Aquíferos de Portugal. In *Proceedings of the 4^o Congresso da Água*, Lisboa, 23 a 27 de Março 1998.
- Lobo Ferreira, J.P. (2000), GIS and Mathematical Modelling for the Assessment of Groundwater Vulnerability to Pollution: Application to Two Chinese Case-Study Areas. In *Proceedings of the Ecosystem Service and Sustainable Watershed Management in North China International Conference*, Beijing, China, 23 a 25 de Agosto 2000.
- Lobo Ferreira, J.P. e Cabral, M. (1991), Proposal for an operational definition of vulnerability for the European Community's Atlas of Groundwater Resources. In *Proceedings of the Brussels GWG (ed) Framework of the Meeting of the European Institute for Water*.
- Lobo Ferreira, J.P. e Oliveira, M. (2004), Groundwater vulnerability assessment in Portugal. *Geofísica Internacional*, 43: 541-550.
- Mendes, M. P., Ribeiro, L., Paralta, E., Batista, S., Silva, E., Cerejeira, M. J. e Leão de Sousa, P. (2006), Vulnerabilidade, Monitorização e Risco na Zona Vulnerável do Tejo. In *Proceedings of the 8^o Congresso da Água*, Figueira da Foz, 13 a 17 de Março.
- Mendes, M.P. (2004), *Impacte do Perímetro de Rega dos Minutos na Qualidade da Água Subterrânea do Sistema Aquífero Évora-Montemor-Cuba*. Tese de Mestrado, IST-Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Moinante, M. J. (2002), *Delimitação de Perímetros de Protecção de Captações de Águas Subterrâneas. Estudo Comparativo Utilizando Métodos Analíticos e Numéricos*. Tese de Mestrado, IST -Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Nascimento, J. e Ribeiro, L. (2004), Effect of Climatic Change in Groundwater Resources of Portugal: Some Preliminary Results. In *Abstracts Book of the 32nd International Geological Congress*. Florence, Italy.

- Nascimento, J., Ribeiro, L., Cunha, L. e Oliveira, R. (2004), Impacto das Alterações Climáticas nos Recursos Hídricos Subterrâneos de Portugal Continental: Alguns Resultados Preliminares. In *Tecnologia da Água n.º 28-edição II*, editado por Reed Business Information, pp. 42-51.
- Neukum, C., Hötzl, H. e Himmelsbach, T. (2007), Validation of vulnerability mapping methods by field investigations and numerical modelling. *Hydrogeology Journal*, 16 (4): 641-658.
- Oliveira, E. (2004), *Vulnerabilidade e Caracterização da Qualidade da Água do Sistema Aquífero de Moura-Ficalho*. Tese de Mestrado, IST - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Oliveira, J., Andrade, A., Antunes, M., Carvalho, D., Coelho, A., Feio, M., Gonçalves, F., Manuppela, G., Marques, B., Monteiro, J., Munhá, J., Ramalho, M., Rey, J., Ribeiro, A., Rocha, R., e Zbyszewsky, G. (1991), *Notícia Explicativa da Folha 7 da Carta Geológica de Portugal à escala 1/200 000*, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Oliveira, M.M. e Lobo Ferreira, J.P. (2004), Cartografia da Vulnerabilidade à Poluição das Águas Subterrâneas do Concelho de Montemor-o-Novo Utilizando o Método DRASTIC. In *Água Subterrânea - Aquíferos Costeiros e Aluviões, Vulnerabilidade e Aproveitamento*, editado por Ed. Universitária da UFPE (Recife), pp.223-276.
- Panagopoulos, G.P., Antonakos, A.K. e Lambrakis, N.J. (2005), Optimization of the DRASTIC method for groundwater vulnerability assessment via the use of simple statistical methods and GIS. *Hydrogeology Journal*, 14 (6): 894-911.
- Paralta, E., Francés, A. e Sarmiento, P. (2002), Caracterização Hidrogeológica e Avaliação da Vulnerabilidade à Poluição Agrícola do Aquífero Mio-Pliocénico da Região de Canhestros (Alentejo). In *Proceedings of the 6º Congresso da Água*, Porto, 18 a 22 de Março.
- Paralta, E., Oliveira, M., Batista, S., Francés, A., Ribeiro, L. e Cerejeira, M.J. (2001), Aplicação de SIG na Avaliação da Vulnerabilidade Aquífera e Cartografia da contaminação Agrícola por Pesticidas e Nitratos na Região do Ribatejo. In *Proceedings of the Seminário A Hidroinformática em Portugal*, LNEC, Lisboa.
- Pimentel, N. (1997), *O Terciário da Bacia do Sado: sedimentologia e análise tectono-sedimentar*. Tese de Mestrado, FCUL-Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Ribeiro, L., Serra, E., Paralta, E. e Nascimento, J. (2003), Nitrate Pollution in Hardrock Formations: Vulnerability and Risk Evaluation by Geomathematical Methods in Serpa-Brinches Aquifer

- (South Portugal). In *ISH International Conference on Groundwater in Fractured Rocks*, editado por J Krázný, Z. Hrkal & Bruthans, Prague, Czech Republic, pp. 377-378.
- Sener, E., Sener, S. e Davraz, A. (2009), Assessment of aquifer vulnerability based on GIS and DRASTIC methods: a case study of the Senirkent-Uluborlu Basin (Isparta, Turkey). *Hydrogeology Journal*, 17 (8): 2023-2035.
- Şimşek, C., Gemici, U. e Filiz S (2008), An assessment of surficial aquifer vulnerability and groundwater pollution from a hazardous landfill site. *Geosciences Journal*, 12 (1): 69-82.
- Stigter, T. (2005), *Integrated Analysis of Hidrogeochemistry and Assessment of Groundwater Contamination Induced by Agricultural Practises*. Dissertação de Doutoramento, IST - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Stigter, T., Almeida, P., Dill, A. e Ribeiro, L. (2003), Influence of Irrigation on Groundwater Nitrate Concentrations in Areas Considered to Have Low Vulnerability to Contamination. In *Special Issue on Groundwater and Human Development, Selected Papers on Hydrogeology*, editado por Usunoff, E., AA Balkema, Rotterdam, pp. 67-84.
- Stigter, T., Ribeiro, L. e Dill, A. (2006), Evaluation of 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., Vieira, J. e Nunes, L. (2002), Avaliação da Susceptibilidade à Contaminação das Águas Subterrâneas no Apoio à Tomada de Decisão - Casos de estudo: Implementação de campos de golfe no concelho de Albufeira (Algarve). In *Proceedings of the 6º Congresso da Água*, Porto, 18 e 22 de Março.



f