

Avaliação da Vulnerabilidade do Sistema Aquífero da Captação da Fadagosa de Nisa (Concelho de Nisa)

Miguel Filipe Araújo da Mota Pais

Dissertação apresentada ao Instituto Politécnico de Castelo Branco para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Monitorização de Riscos e Impactes Ambientais realizada sob a orientação científica da Doutora Isabel Margarida Horta Ribeiro Antunes, Professora Adjunta da Escola Superior Agrária e da Doutora Maria Teresa Durães Albuquerque, Professora Adjunta da Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco

Posso ter defeitos, viver ansioso e ficar irritado algumas vezes,
mas não esqueço de que a minha vida é a maior empresa do mundo.
E que posso evitar que ela vá a falência.
Ser feliz é reconhecer que vale a pena viver apesar de todos os desafios, incompreensões e
períodos de crise.
Ser feliz é deixar de ser vítima dos problemas e
se tornar um autor da própria história.
É atravessar desertos fora de si, mas ser capaz de encontrar
um oásis no recôndito da sua alma .
É agradecer a Deus a cada manhã pelo milagre da vida.
Ser feliz é não ter medo dos próprios sentimentos.
É saber falar de si mesmo.
É ter coragem para ouvir um 'não'.
É ter segurança para receber uma crítica, mesmo que injusta.
Pedras no caminho?
Guardo todas, um dia vou construir um castelo...

(Fernando Pessoa)

Agradecimentos

Estando a terminar a elaboração do projecto de mestrado, é tempo de fazer uma reflexão sobre o trabalho desenvolvido. E nesse sentido, importa reconhecer o auxílio de um conjunto de pessoas e instituições, sem as quais a realização deste trabalho seria muito dificultada ou mesmo inviabilizada, nomeadamente:

- À Câmara Municipal de Nisa e Administração da Região Hídrica (Portalegre) pela disponibilidade dos dados solicitados;
- À minha orientadora, a Doutora Isabel Margarida Antunes, pela disponibilidade demonstrada no esclarecimento das dúvidas surgidas. Pela análise do trabalho com os respectivos comentários, indicações e correcções que muito valorizaram o resultado final. A paciência demonstrada e as palavras de incentivo foram fundamentais ...
- À minha co-orientadora, a doutora Teresa Albuquerque, apesar da distância, tal motivo não foi impeditivo de apoiar no esclarecimento de dúvidas, análise do trabalho, comentários e sugestões;
- À Doutora Ofélia Anjos, pela simpatia e prontidão nos esclarecimentos solicitados, pelos ensinamentos e sugestões;
- Às Funcionárias da C.M. de Nisa, Clara Franco e Maria João Alexandre, pela disponibilidade no esclarecimento de dúvidas e apoio variado quando solicitado;
- Ao Nuno Morgado, pela prontidão no esclarecimento das dúvidas surgidas, apesar da distância, um amigo...
- À minha esposa Anabela, pela compreensão e “suporte emocional” durante a elaboração do trabalho, esteve sempre presente...

A todos muito obrigado e bem-haja

Avaliação da Vulnerabilidade do Sistema Aquífero da Captação da Fadagosa de Nisa (Concelho de Nisa)

Miguel Filipe Araújo da Mota Pais

Palavras chave

Sistema Aquífero, Termas de Nisa, Índice Drastic, Cartografia de vulnerabilidade.

Resumo

As termas da Fadagosa de Nisa estão localizadas no nordeste alentejano, tendo uma importância fulcral na economia desta região. Esta infra-estrutura está inserida no sector aquífero das Rochas Ígneas, sendo abastecida por um único furo (ACP4), com uma produtividade de 2 l/s, englobando-o numa região hidrogeológica com fraca aptidão aquífera.

Tal situação está relacionada com as características litológicas, onde predominam granitos fracturados, cujas fendas estão preenchidas por argilas. Em relação à circulação das águas, estas apresentam características próprias dos meios fissurados.

A concessão das termas está inserida numa região onde predomina a agricultura, o que pode possibilitar a contaminação das águas subterrâneas. A determinação da vulnerabilidade de águas subterrâneas pode ser um auxiliar precioso nos processos de tomada de decisão, visando o correcto ordenamento do território e preservação de recursos da região.

Assim, com o intuito de determinar a vulnerabilidade da zona onde estão inseridas as Termas da Fadagosa de Nisa optou-se por utilizar o índice “DRASTIC”, recorrendo-se ao software ArcGis da ESRI para o tratamento da informação e posterior elaboração da cartografia. Como resultado final foi possível obter uma carta de vulnerabilidade onde se demonstra que, apesar de existirem zonas com vulnerabilidade alta e moderada na zona de estudo, na zona envolvente da captação das Termas da Fadagosa de Nisa a vulnerabilidade é baixa.

Como informação complementar, foi efectuada uma análise estatística, interpretativa de diversos resultados de parâmetros físicos e químicos obtidos na água do furo ACP4 (Captação da Fadagosa de Nisa), ao longo de cerca de 10 anos, de modo a obter as variações temporais e possíveis consequências na vulnerabilidade da área de estudo. Na análise dos resultados não se verificou alterações significativas na variabilidade de ocorrência destes elementos, podendo-se considerar que os índices de vulnerabilidade tendem a manter-se constantes independentemente da estação do ano em causa.

Vulnerability Assessment of the Aquifer System of Fadagosa - Nisa Uptake (Nisa County)

Miguel Filipe Araújo da Mota Pais

Keywords

Aquifer System, Nisa's SPA, Drastic Index, Cartography of Vulnerability

Abstract

The Fadagosa Nisa's SPA is located in the northeast's Alentejo region and it is an important and essential factor for local incomes. Concerning Hidrogeology these thermal facilities belong to the Igneous Rocks' water sector, being supplied by the only existent uptake (ACP4). The average observed productivity is about 2 l/s, which includes this uptake in a hydrogeological unit characterized by weak water's capacity.

The lithological characteristics, mainly dominated by cracked granite with secondary clay filling are the principal liable for the low observed productivity. About the direct relation into the water circulation, these show specific characteristics of the fissured environment.

Farming and livestock activities are the dominant ones in the region where the concession of the SPA is inserted, which may cause negative impacts for groundwaters' quality. Thus the vulnerability assessment plays a precious role in decision making concerning territorial planning and local resource preservation.

The "DRASTIC" index was applied as methodology for vulnerability quantification, and GIS processed using adequate ArcGis' tools, for visualization and hazard maps construction. As spots of high and moderate vulnerability can be seen within the study area, the capture surroundings' vulnerability is low, though.

A statistical interpretative analysis was made taking as reference, the results of several physical and chemical parameters, for the ACP4 water's catchment, Fadagosa-Nisa, over the last 10 years in order to obtain their temporal variability and their possible impacts for seasonal vulnerability in the study area. The results showed no significant changes, regardless the season, for vulnerability parameters, as the variability of occurrence of these elements tends to remain constant, regardless the season in question

Índice geral

	pg	
1	Introdução	1
2	Método DRASTIC	3
2.1	Caracterização dos parâmetros	5
2.1.1	Profundidade da zona não saturada	5
2.1.2	Recarga do aquífero	5
2.1.3	Material do aquífero	6
2.1.4	Tipo de solo	6
2.1.5	Topografia	7
2.1.6	Influência da zona vadosa	7
2.1.7	Condutividade hidráulica	8
2.2	Definição da Proporção relativa dos parâmetros	8
3	Caracterização biofísica da área de estudo	9
3.1	Localização geográfica	9
3.2	Enquadramento geomorfológico e geológico	10
3.3	Hidrogeologia	13
3.4	Clima	16
3.5	Ocupação e uso do solo	17
3.6	Actividades dominantes	18
4	Avaliação da vulnerabilidade	19
4.1	Quantificação de parâmetros	20
4.1.1	Profundidade da zona não saturada (D)	20
4.1.2	Recarga do aquífero (R)	21
4.1.3	Material do aquífero (A)	21
4.1.4	Tipo de solo (S)	22
4.1.5	Topografia (T)	23
4.1.6	Influência da zona vadosa (I)	24
4.1.7	Condutividade hidráulica (C)	25
4.2	“Raster Calculator”	25

4.3	Mapa de vulnerabilidade - análise de síntese	26
5	Informação complementar	29
6	Conclusão	35
	Referências bibliográficas	37
	Anexos	

Índice de figuras

	pg
• Figura 1 - Maqueta do complexo das termas da Fadagosa de Nisa (fonte: www.aguas.ics.ul.pt , 2002).	1
• Figura 2 - Imagem do complexo das termas da Fadagosa de Nisa (fonte: Lifecooler, 2009).	1
• Figura 3 - Localização do concelho de Nisa (fonte: C.M.N., 2010a).	9
• Figura 4 - Localização do furo das termas e respectiva área de concessão de exploração (fonte: C.M.N., 2010a).	10
• Figura 5 - Unidades de relevo do concelho de Nisa (fonte: C.M.N., 2010a).	10
• Figura 6 - Regiões tectonoestratigráficas de Portugal (fonte: C.M.N., 2010a).	11
• Figura 7 - Zonas de afloramento de granitos de Alpalhão, Gáfete e Nisa (fonte: Catrapona et al., 2009).	12
• Figura 8 - Esquema da volumetria do Maciço de Nisa e disposição dos diferentes tipos de granitos (fonte: LNEG, 2010).	12
• Figura 9 - Bacia hidrográfica do rio Tejo (fonte: LNEG, 2010).	13
• Figura 10 - Mapa de aptidão hidrogeológica (fonte: LNEG, 2010).	14
• Figura 11 - Diagrama de Piper para as águas provenientes de formações graníticas e das termas da Fadagosa de Nisa (fonte: LNEG, 2010).	15
• Figura 12 - Ocupação do solo nas zonas de protecção das termas da Fadagosa de Nisa (fonte: C.M.N., 2010a).	18
• Figura 13 - Área de estudo para determinação do índice de vulnerabilidade DRASTIC.	19
• Figura 14 - Pontos de água.	20
• Figura 15 - Carta de índices de profundidade.	20
• Figura 16 - Carta de índices de recarga.	21
• Figura 17 - Carta de índices do material do aquífero.	22
• Figura 18 - Tabela de atributos da carta de solos.	22
• Figura 19 - Carta de índices do tipo de solo.	23
• Figura 20 - Tabela de atributos dos declives.	23
• Figura 21 - Carta de índices da topografia.	24
• Figura 22 - Carta de índices da Zona Vadosa.	24
• Figura 23 - Carta de índices da condutividade.	25

• Figura 24 - “ <i>Raster calculator</i> ”.	25
• Figura 25 - Pontos de água (poços de S. Gens).	26
• Figura 26 - Carta de vulnerabilidade - DRASTIC.	27
• Figura 27 - Zonas com vulnerabilidade alta.	28
• Figura 28 - Furo das termas (ACP4) e respectivas zonas de protecção.	28
• Figura 29 - Valores das análises efectuadas na captação ACP4 entre 2001 e 2010 (período seco e período húmido) (Fonte: C.M.N., 2010).	30
• Figura 30 - Variação dos parâmetros Físico-químicos da água do furo ACP4, entre 2001 e 2010.	31
• Figura 31 - Variações dos catiões e aniões presentes na água do furo ACP4, entre 2001 e 2010.	32
• Figura 32 - Variações da componente vestigiária, presentes na água do furo ACP4, entre 2001 e 2010.	33

Índice de tabelas

	pg
• Tabela I - Tabela de Classes de Vulnerabilidade para o método DRASTIC. (adaptado de Matias, 2010).	4
• Tabela II - Classes e índices da profundidade da zona não saturada (adaptado de Aller et al., 1987).	5
• Tabela III - Classes e índices da recarga do aquífero. (adaptado de Aller et al., 1987).	6
• Tabela IV - Classes e índices do material do aquífero (adaptado de Matias, 2010).	6
• Tabela V - Classes e índices do tipo de solo. (adaptado de Matias, 2010).	7
• Tabela VI - Classes e índices da topografia (adaptado de Aller et al., 1987).	7
• Tabela VII - Classes e índices da influência da zona vadosa. (adaptado de Matias, 2010).	8
• Tabela VIII - Classes e índices da condutividade hidráulica. (adaptado de Matias, 2010).	8
• Tabela IX - Proporção relativa de cada parâmetro no cálculo do índice de vulnerabilidade DRASTIC. (adaptado de Aller et al., 1987).	9
• Tabela X - Coordenadas geográficas da área de concessão das termas da Fadagosa de Nisa. (fonte: Diário República, 1992b).	9
• Tabela XI - Distribuição das diferentes unidades pedológicas no concelho de Nisa (fonte: C.M.N., 2010a).	17
• Tabela XII - Informação de base aplicada no índice de vulnerabilidade DRASTIC.	19

1. Introdução

A importância das termas na vida da população de Nisa já remonta ao século XVIII. Na consulta à monografia de Nisa é possível constatar que a construção das primeiras edificações nas termas da Fadagosa de Nisa, para comodidade dos banhistas, remonta ao ano de 1792 (Figueiredo, 1956). Contudo, a actividade termal nem sempre esteve activa ao longo dos anos, sendo possível constatar que as termas passaram por períodos de desenvolvimento activo, intercalados por outros de declínio, até situações de abandono.

O primeiro contrato de exploração, entre a Direcção-Geral de Geologia e Minas e a Câmara Municipal de Nisa, para exploração da água mineral natural por um período de 50 anos, foi celebrado no ano de 1992 (Diário da República, 1992a), sendo publicada, no mesmo ano, a portaria nº 948/92, de 29 de Setembro, que define os perímetros de protecção para esta captação, com o objectivo de proteger o recurso, tendo em vista a sua exploração e aproveitamento adequado. Esta protecção é efectuada através da delimitação de 3 zonas (zona imediata, intermédia e alargada), com diferentes restrições e/ou proibições (Diário da República, 1992b).

No caso das explorações dos recursos hidrotermais, estas protecções têm como fundamento estudos hidrogeológicos, de modo a identificar e colmatar possíveis vulnerabilidades a que o aquífero possa ser exposto e prevenir a sua contaminação.

No ano 2000, foi criada a empresa municipal Ternisa-E.M., com o objectivo de dirigir a exploração das termas. Neste mesmo ano, foi adjudicada a elaboração do projecto para construção de novos balneários (Figura 1), tendo sido iniciada em 2005, e inaugurada em 2009 (Figura 2).



Figura 1 - Maqueta do complexo das termas da Fadagosa de Nisa.
(fonte: www.aguas.ics.ul.pt, 2002)



Figura 2 - Imagem do complexo das termas da Fadagosa de Nisa.
(fonte: Lifecooler, 2009)

Devido à importância deste empreendimento para a economia local e regional e, considerando que a água é um recurso escasso, torna-se imperioso que se tomem medidas que prevejam a sua protecção e sejam adoptadas medidas de ordenamento do território correctas e adequadas à realidade em estudo.

Numa primeira abordagem ao tema, é importante definir vulnerabilidade. As primeiras referências a este conceito e à contaminação de aquíferos remontam à década de 60, do século XX, quando o termo foi introduzido com o intuito de definir o grau de protecção que o ambiente natural pode fornecer face à entrada de poluentes nas águas subterrâneas (Wang et al., 2007). Apesar da literatura produzida ao longo dos anos e dos inúmeros trabalhos efectuados nesta área, dos quais podem ser referidos entre outros, Lobo-Ferreira, 1998; Civita & Maio, 2004; Paralta et al., 2005, Sinan & Razack, 2008; Liggett & Allen, 2010; Matias, 2010, é difícil obter uma definição objectiva e uniformizada.

Segundo Paralta et al. (2005), o termo vulnerabilidade pode ser entendido como “*a maior ou menor capacidade de atenuação das camadas superficiais do aquífero face à passagem de poluentes, sendo uma propriedade intrínseca do sistema hidrogeológico*”, e pode ser entendida sob 2 perspectivas:

A **vulnerabilidade intrínseca ou (natural)** do aquífero à contaminação, é a sensibilidade própria do sistema aquífero nas suas várias componentes geométricas e hidrodinâmicas para receber e difundir líquidos e/ou contaminantes em função do espaço e tempo (Civita & Maio, 2004). A vulnerabilidade intrínseca depende de 3 factores principais:

- O processo de ingestão e o tempo de deslocação da água e/ou contaminantes através da zona não saturada até à zona saturada (Civita & Maio, 2004);
- Dinâmica dos fluxos das águas subterrâneas e/ou contaminantes na zona saturada (Civita & Maio, 2004);
- A concentração residual dos contaminantes na zona saturada em relação à concentração original, indicando assim, a capacidade de atenuação do aquífero ao impacto do contaminante (Civita & Maio, 2004).

A **vulnerabilidade específica** define a sensibilidade das águas subterrâneas a um determinado contaminante em função das suas propriedades e das características intrínsecas dos sistemas aquíferos (Wang et al., 2007). Neste caso, a avaliação deve ser feita tendo em atenção as características físicas e químicas do contaminante, tipo de fonte, quantidades, modos e taxas de aplicação (Civita & Maio, 2004).

Por fim, como complemento à definição do conceito de vulnerabilidade convém distinguir este termo do risco de poluição. Neste sentido pode-se referir que o risco depende não só da vulnerabilidade, mas também da existência de contaminantes em quantidade significativa que possam atingir o sistema aquífero (Rhaman, 2008). Assim, conclui-se que é possível a existência de aquíferos com uma vulnerabilidade elevada, mas um baixo risco de poluição, devido à ausência de cargas poluentes ou haver um risco de poluição elevado apesar da baixa vulnerabilidade (Lobo Ferreira, 1998).

Com a possibilidade de identificação de diferentes níveis de vulnerabilidade nas zonas de aquíferos é possível determinar as áreas de maior potencial de contaminação, sendo possível a criação de mapas de vulnerabilidades (Al-Zabet, 2002).

Para a determinação da vulnerabilidade foram desenvolvidas várias metodologias de estudo ao longo das últimas décadas, nomeadamente, construção de índices e métodos estatísticos aplicados em grandes áreas de estudo (escalas até 1:50000), bem com métodos baseados em simulações de modelos, aplicados a áreas de estudo mais pequenas (Wang et al., 2007). Apesar das várias metodologias existentes, Paralta et al. (2005), considera que não existe forma satisfatória de representar a vulnerabilidade dos aquíferos pois não é possível inserir num único mapa todos os parâmetros que influenciam o comportamento dos contaminantes. No entanto, com a construção de índices de síntese, é possível considerar conjuntamente a influência de vários factores que actuam na avaliação da vulnerabilidade do aquífero. O “DRASTIC” é uma das metodologias mais comuns na avaliação da vulnerabilidade de aquíferos (Samake et al., 2011). Este método possui relativa facilidade de aplicação, face à quantidade razoável de informação disponível juntamente com a possibilidade de aplicação em áreas com diferentes características, e obtenção de resultados facilmente interpretáveis (Liggett & Allen, 2010).

O objectivo deste trabalho consiste na avaliação da vulnerabilidade da água subterrânea na envolvente da captação da Fadagosa de Nisa, que abastece as Termas de Nisa (furo ACP 4), e possíveis focos de contaminação a que possa estar exposta. Para tal, é apresentado neste trabalho:

- A aplicação de índice de vulnerabilidade (Método DRASTIC), através da qual é possível a criação de mapas vulnerabilidade com recurso a ferramentas SIG (ArcMAP® 9.3.1);
- Como informação complementar, é interpretada a variabilidade temporal, para o período entre 2001 e 2010, de parâmetros físicos e químicos da água obtida na captação das termas da Fadagosa de Nisa (furo ACP 4), de modo a obter possíveis indicadores da variação da vulnerabilidade deste sistema aquífero.

A partir dos resultados obtidos, e sua interpretação, serão propostas algumas medidas que visem o controlo da qualidade da captação da Fadagosa de Nisa, tendo em conta a distribuição espacial da vulnerabilidade na região. Esta informação poderá ser utilizada e aplicada em outras áreas termais de características semelhantes.

2. Método DRASTIC

O índice de vulnerabilidade DRASTIC, cujo nome resulta do anacrónimo das iniciais dos parâmetros considerados no seu cálculo, foi desenvolvido por Aller et al. (1987) e consiste no

somatório da média ponderada de 7 parâmetros (ou indicadores hidrogeológicos) de uma determinada área:

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

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

$$V = D_i \times D_p + R_i \times R_p + A_i \times A_p + S_i \times S_p + T_i \times T_p + I_i \times I_p + C_i \times C_p$$

Em que:

(V) - Vulnerabilidade;

(i) - índice;

(p) - proporção.

Como resultado final, obtém-se um índice de vulnerabilidade que pode variar entre um valor mínimo de 23 (pouco vulnerável) e um valor máximo de 230 (muito vulnerável) (Liggett & Allen, 2010) (Tabela I).

Tabela I - Tabela de classes de vulnerabilidade para o método DRASTIC (adaptado de Matias, 2010).

Baixa	Moderada	Alta	Extrema
23-119	120-149	150-179	180-230

Para que seja possível a sua aplicação, devem ser cumpridos 4 pressupostos:

- O contaminante deve ter origem na superfície;
- A sua introdução no aquífero processa-se por infiltração;
- O contaminante tem que ter a mesma mobilidade que a água;
- A zona de estudo tem que ter uma área superior a 100 acres (40,5 Hectares).

2.1 Caracterização dos parâmetros

2.1.1 Profundidade da zona não saturada

É a profundidade entre a superfície do solo e o lençol freático. Caso o aquífero seja confinado, a profundidade da água determina-se calculando a profundidade ao topo do aquífero (Aller et al., 1987). Este parâmetro permite determinar a profundidade que um contaminante percorre até atingir a zona saturada (Sener et al., 2009). Quanto maior for a profundidade, maior será o tempo de filtragem e maior será o tempo de exposição do contaminante aos agentes oxidantes e adsorventes presentes na zona vadosa, sendo mais baixo o índice de vulnerabilidade associado (Matias, 2010) (Tabela II).

Tabela II - Classes e índices da profundidade da zona não saturada (adaptado de Aller et al., 1987).

Parâmetro	Classes	Índice
Profundidade da zona não saturada	<1,5m	10
	1,5m - 4,57m	9
	4,57m - 9,14m	7
	9,14m - 15,24m	5
	15,24m - 22,86m	3
	22,86m - 30,48m	2
	>30,48m	1

2.1.2 Recarga do aquífero

Este parâmetro refere-se à quantidade de água que se infiltra no solo atingindo o aquífero, sendo responsável pelo transporte de contaminantes, tanto verticalmente através da zona não saturada, como sub-horizontalmente no interior do aquífero (Matias, 2010). Pode-se considerar que quanto maior for a recarga, maior o potencial de poluição (Paralta et al., 2001), pois é considerado como o principal vector no transporte de poluentes para os lençóis freáticos (Sinan & Razack, 2008). Este parâmetro tem em consideração os valores médios anuais da infiltração em detrimento da intensidade, distribuição ou duração dos eventos que originam a

recarga (Al-Zabet, 2002), e quanto mais intensa for a recarga, maior será o índice de vulnerabilidade associado (Tabela III).

Tabela III - Classes e índices da recarga do aquífero (adaptado de Aller et al., 1987).

Parâmetro	Classes	Índice
Recarga do aquífero	0 - 50,8 mm	1
	50,8 mm - 101,6 mm	3
	101,6 mm - 177,8 mm	6
	177,8 mm - 254 mm	8
	> 254 mm	9

2.1.3 Material do aquífero

Este parâmetro representa a capacidade de atenuação do aquífero em função do material litológico que o constitui (Paralta et al., 2001), estando directamente relacionado com as suas características geotécnicas (porosidade, tamanho dos poros, linearidade do fluxo, entre outros) (Sinan & Razack, 2008). A envolvente geológica, influencia o escoamento da água no interior da zona saturada, determinando as diversas possíveis direcções de migração dos contaminantes e o tempo considerado necessário para ocorrerem os processos de atenuação (Matias, 2010). De um modo geral, as formações litológicas mais permeáveis apresentam índices de vulnerabilidade mais elevados (Tabela IV).

Tabela IV - Classes e índices do material do aquífero (adaptado de Matias, 2010).

Parâmetro	Classes	Índice
Material do aquífero	Xisto Maciço	2
	Rochas Metamórficas e Ígneas	3
	Rochas Metamórficas e Ígneas Alteradas/ Fracturadas	4
	Camadas Finas de Arenitos, Calcários e Xistos	6
	Arenitos	6
	Calcários	6
	Areias e Conglomerados	8
	Basalto	9
	Calcários Carsificados	10

2.1.4 Tipo de solo

O tipo de solo tem um contributo significativo na quantidade de água que se pode infiltrar e, conseqüentemente, sobre a capacidade do contaminante se mover verticalmente na zona vadosa (Sener et al., 2009). O teor de matéria orgânica existente no solo, por sua vez, influencia a capacidade de adsorção de diversos metais pesados e moléculas orgânicas, promovendo a diminuição da quantidade de nitratos e sedimentos transportados para os aquíferos. As cargas

químicas superficiais existentes nos óxidos e minerais de argila do solo têm influência na capacidade de retenção de diversos elementos e compostos químicos, possibilitando uma diminuição no índice de vulnerabilidade associado (Matias, 2010) (Tabela V).

Tabela V - Classes e índices do tipo de solo (adaptado de Matias, 2010).

Parâmetro	Classes	Índice
Tipo de solo	Pouco profundos ou ausente	10
	Conglomerados	10
	Areia	9
	Turfa	8
	Argila Agregada e/ou Desidratada	7
	Barro Arenoso	6
	Barro	5
	Barro Siltoso	4
	Barro Argiloso	3
	Estrume	2
Argila não Agregada nem Desidratada	1	

2.1.5 Topografia

Este parâmetro refere-se à variação do declive do terreno, condicionando a velocidade e a direcção do escoamento superficial do poluente e do gradiente hidráulico (Paralta et al., 2001). As áreas de menor declive tendem a reter água durante um maior intervalo de tempo, permitindo uma maior infiltração da água e um maior potencial de migração de contaminantes, aumentando a vulnerabilidade das águas subterrâneas (Rahman, 2008). A variação do declive, por sua vez, pode influenciar o desenvolvimento da camada de espessura do solo, tendo efeito na atenuação dos contaminantes e diminuindo o seu índice de vulnerabilidade (Matias, 2010) (Tabela VI).

Tabela VI - Classes e índices da topografia (adaptado de Aller et al, 1987).

Parâmetro	Classes	Índice
Topografia	0 - 3%	10
	6% - 6%	9
	6% - 9%	5
	9% - 16%	3
	16% - 25%	2
	>25%	1

2.1.6 Influência da zona vadosa

A zona vadosa corresponde à porção de solo situada entre o aquífero e a superfície do solo (Rahman, 2008), sendo também denominada de zona não saturada. O tipo de material que se encontra nesta zona influencia o tempo de percurso do poluente, possibilitando a ocorrência de

diversos processos de atenuação (Paralta et al., 2001) e desempenhando um papel importante na protecção das águas subterrâneas (Sinan & Razack, 2008) (Tabela VII). À semelhança do indicado anteriormente para o material constituinte do aquífero, a vulnerabilidade associada à zona vadosa dependerá das suas características físicas e químicas (Tabelas IV e VII).

Tabela VII - Classes e índices da Influência da zona vadosa (adaptado de Matias, 2010).

Parâmetro	Classes	Índice
Influência da zona vadosa	Silte e Argilas	1
	Xistos	3
	Calcários	6
	Arenitos	6
	Camadas de Calcários, Arenitos, Xistos e Conglomerados com quantidades importantes de Silte e Argilas	6
	Rochas Metamórficas e Ígneas	4
	Areia e Conglomerados	8
	Basalto	9
	Calcários Carsificados	10

2.1.7 Condutividade hidráulica

Este parâmetro indica a capacidade do aquífero em transmitir água, determinando assim, a taxa de fluxo de material contaminante (Sinan & Razack, 2008). Esta capacidade dependerá das características geológicas e estruturais dos materiais atravessados e do tipo de contaminante (p. ex. porosidade, natureza das interconexões de espaços vazios, entre outras) (Matias, 2010). Nos aquíferos com elevada condutividade hidráulica, o índice de vulnerabilidade é mais elevado, estando mais exposto à contaminação, comparativamente com materiais de menor condutividade hidráulica (Rahman, 2008) (Tabela VIII).

Tabela VII - Classes e índices da condutividade hidráulica (adaptado de Matias, 2010).

Parâmetro	Classes	Índice
Condutividade hidráulica	0 - 5 m/dia	10
	5,1 - 12 m/dia	9
	12,1 - 30 m/dia	7
	30,1 - 50 m/dia	5
	50,1 - 90 m/dia	3
	+ 90 m/dia	2

2.2 Definição da proporção relativa dos parâmetros

A proporção relativa de cada parâmetro (ou coeficiente de ponderação) foi calculada pelos autores que desenvolveram o índice de vulnerabilidade DRASTIC, tendo por base critérios

zona de estudo, situa-se na freguesia de Arez, a sul do concelho, a cerca de 8,8 Km a SSW da vila de Nisa e a 1,1 Km do marco geodésico da (Lage da prata) (Figura 4). Segundo o contrato de exploração celebrado em 1992, as termas têm uma área de concessão com 74,88 Ha, sendo delimitada pela poligonal cujos vértices têm as seguintes coordenadas (Tabela X).

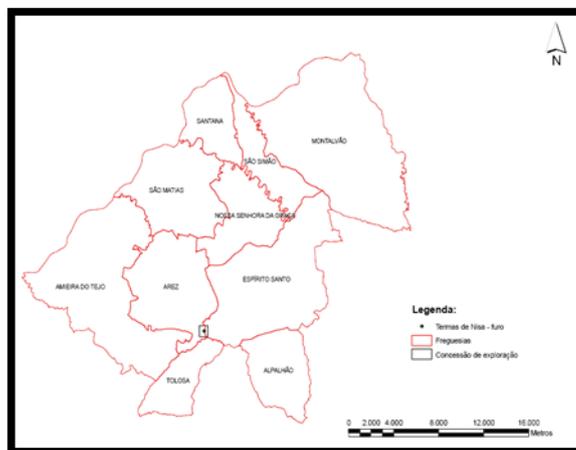


Figura 4 - Localização do furo das termas e respectiva área de concessão de exploração (fonte: C.M.N., 2010a).

Tabela X - Coordenadas geográficas da área de concessão das termas de Nisa (fonte: Diário da República, 1992a).

Vértice	Distância à meridiana (m)	Distância à perpendicular (m)
A	+37 260,00	-23770,00
B	+38 040,00	-23770,00
C	+38 040,00	-24730,00
D	+37 260,00	-24730,00
(Sistema hayford-gauss)		

3.2 Enquadramento geomorfológico e geológico

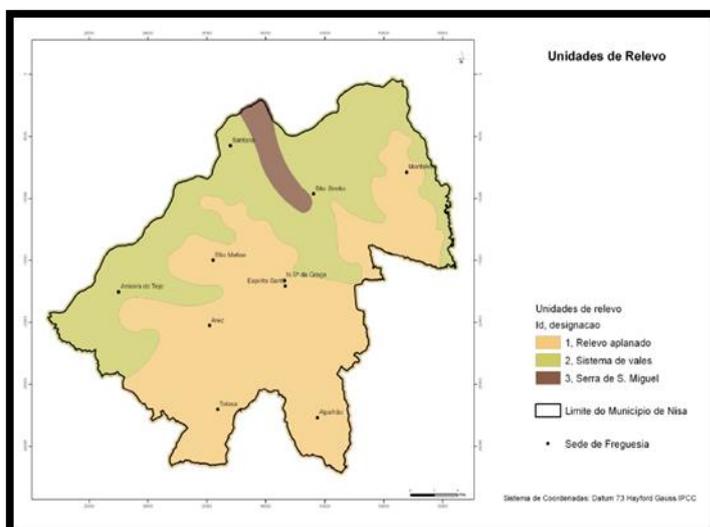


Figura 5 - Unidades de relevo do Concelho de Nisa (fonte: C.M.N, 2010a).

Em relação ao enquadramento geomorfológico, a parte sul do concelho de Nisa está englobada na plataforma do Alto Alentejo, também denominada peneplanície do Alto Alentejo ou superfície de Nisa (LNEG, 2010). Esta superfície corresponde a uma área de relevos aplanados dentro das unidades de relevos definidas na região (Figura 5) e desenvolve-se a uma altitude entre 300-310 metros na área de Nisa (freguesia

do Espírito Santo e Sr.^a da Graça) (Figura 4), atingindo os 320 metros de altitude na zona de Alpalhão (Figura 4) (LNEG, 2010). Esta variação pode ser comprovada com a análise da carta hipsométrica do Concelho de Nisa (Anexo 1a). De acordo com a carta de declives do concelho de Nisa, é possível constatar que em toda a parte sul do concelho, os declives apresentam maioritariamente valores inferiores a 9% (Anexo 1b), sendo possível verificar a existência de uma suave inclinação para Este em direcção à falha do Ponsul (LNEG, 2010). Ao considerar a região envolvente das termas de Nisa, esta apresenta uma área aplanada com cotas variando entre 240 m, no leito da ribeira do Sôr, e entre 300-310 m, estando a captação situada a uma cota de 280m (A. Cavaco Lda, 1983).

Em relação à evolução tectonoestratigráfica o concelho de Nisa enquadra-se no Maciço Hespérico, mais precisamente na Zona Centro Ibérica (Figura 6). A criação destas zonas está



Figura 6 - Regiões tectonoestratigráficas de Portugal (fonte: C.M.N., 2010a).

relacionada com movimentos tectónicos compressivos da orogenia Hercínica ou Varisca durante a Era Paleozóica, entre o final do Devónico e o Pérmico (LNEG, 2010). Apesar da existência de acções orogénicas mais antigas, foram os movimentos Hercínicos que influenciaram a consolidação estrutural do Concelho de Nisa, sendo responsáveis pelo ajustamento posterior das formações de idade Odovícica (LNEG, 2010). Estes movimentos originaram diversos dobramentos e basculamentos de materiais sedimentares, bem como, o esmagamento com consequente alteração dos granitos ante-Hercínicos (C.M.N., 2010a).

Durante o período em que ocorreram estes fenómenos, ou logo após a sua acção, ocorreu uma importante intrusão ígnea que metamorizou os xistos do grupo das Beiras e os sedimentos do

Paleozóico, constituindo o Maciço Nisa-Albuquerque (C.M.N., 2010a).

Associadas aos eventos tectónicos locais, no decurso da fase tardia da orogenia Hercínica, ocorreu o aparecimento de um conjunto de falhas que afectaram as rochas pré-existentes, tendo como principal direcção de compressão máxima, norte-sul, e originou um sistema de falhas conjugado com direcção NNE-SSW, de movimentação esquerda, e direcção NNW-SSE, com movimentação direita. No entanto, a ocorrência da fase tardia da orogenia Hercínica apresentou um efeito menos penetrativo que outras fases, tendo incidido nos níveis crustais superiores em regime dúctil-frágil e frágil (LNEG, 2010). Convém, ainda, referir a ocorrência de movimentos alpinos, que provocaram um rejogo de falhas e fracturas originadas na fase da orogenia Hercínica, facilitando o preenchimento silicioso da maioria delas (C.M.N., 2010a). Por último, sensivelmente há 9,5 milhões de anos, nos finais do Miocénico, novos movimentos compressivos, forçaram falhas com direcção NE-SW a ENE-WSW a rejogar, como falhas inversas com

cavalgamentos para sul, e falhas com a direcção NNE-SSW a originarem desligamentos esquerdos, com movimentações verticais (LNEG, 2010).

Do ponto de vista geológico, a parte sul do Concelho é ocupada predominantemente por rochas magmáticas (Anexo 2). Nesta área, ocorre a intrusão de uns maciços graníticos em outros com diferentes idades e composição, originando um cenário complexo de granitos com características variadas (Calado, 2001). Nesta estrutura geral, o granito de Nisa apresenta a fácies dominante, com uma granularidade muito grosseira, e fenocristais de feldspato, em oposição aos granitóides do núcleo de granularidade mais fina, denominados por granitos de Gáfete e Alpalhão (LNEG, 2010) (Figura 7). Apesar de não aflorarem no Concelho de Nisa, podem ainda ser encontrados outros tipos de granitos, tais como o granito de Quarezeiros entre outros (LNEG, 2010) (Figura 8).

O conjunto denominado Maciço Granítico de Nisa (também denominado batólito de Nisa ou sistema eruptivo Nisa - Albuquerque), pode ser enquadrado no grupo dos granitos tardi-pós Orogénico, relativamente à orogenia Hercínica (Catrapona et al., 2009). Tal situação, pode ser comprovada pelas datações Rb/Sr e K-Ar que determinam a sua idade em torno dos 286-312 Ma (LNEG, 2010), aliadas as suas características e à ausência de significativa deformação, à excepção da fracturação tardi-Hercínica.

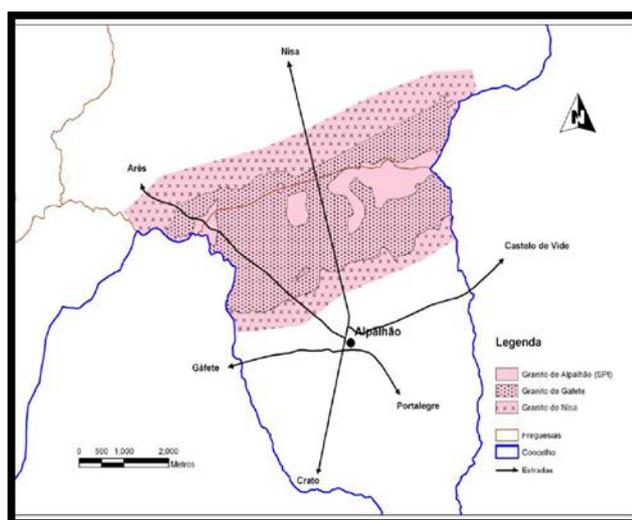


Figura 7 - Zonas de afloramento de granitos de Alpalhão, Gáfete e Nisa (fonte: Catrapona et al., 2009).

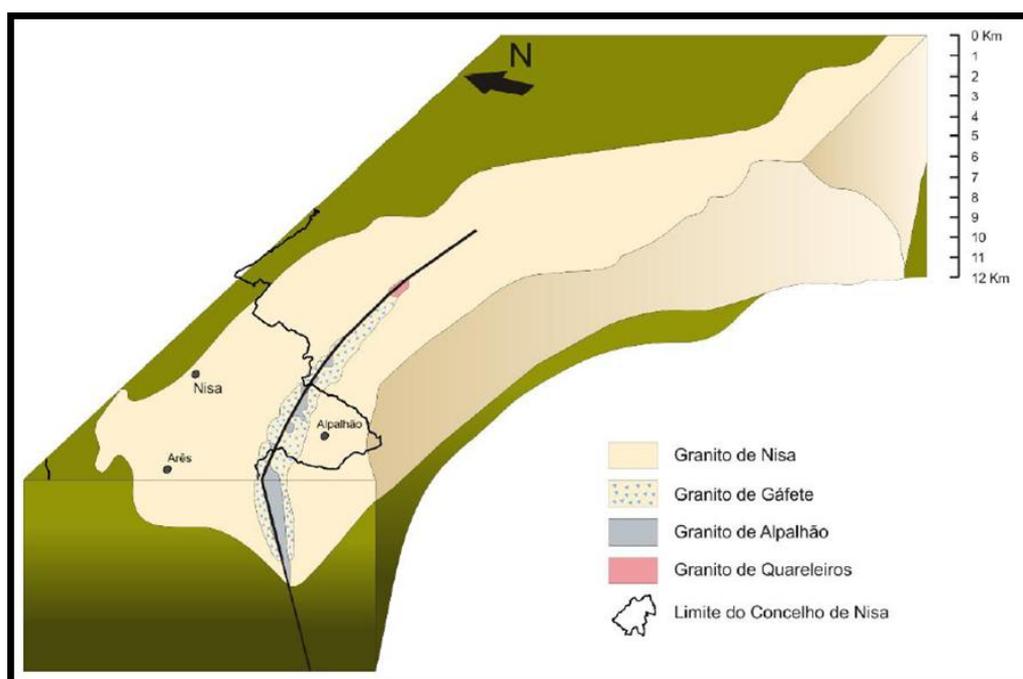


Figura 8 - Esquema da volumetria do Maciço de Nisa e disposição dos diferentes tipos de granitos (fonte: LNEG, 2010).

A hidrogeologia, está directamente influenciada pela litologia que caracteriza o Concelho, de natureza granítica na parte sul e metassedimentar na parte norte (Figura 10), com solos poucos desenvolvidos, que derivam das rochas xistentas e apresentam uma constituição argilosa (Catrapona et al., 2009). No concelho de Nisa é possível obter uma produtividade hidrológica entre os 0,5 l/s e 1,0 l/s na zona de granitos e 1,0 l/s e 1,5 l/s na zona de xistos (C.M.N., 2010a). A menor produtividade da zona dos granitos, está relacionada com um processo de diaclasamento e fracturação menos intenso e as fendas ao estarem preenchidas por argilas, dificultam a circulação subterrânea (C.M.N., 2010a). Estas características permitem que se divida o Concelho basicamente em 2 grandes formações com fraca aptidão aquífera, uma de natureza eruptiva e outra de natureza metamórfica (Figura 10), pelo que na área de estudo dominam as formações com permeabilidade fissural. Em relação à circulação subterrânea, esta

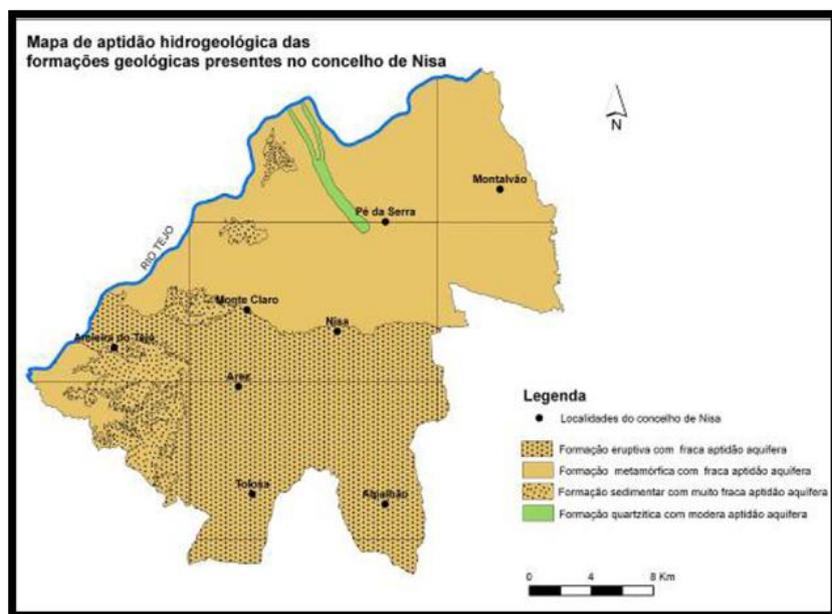


Figura 10 - Mapa de aptidão hidrogeológica (fonte: LNEG, 2010).

também ocorre por fissuras, no entanto, a nível superficial é possível verificar a existência de uma zona com um manto de alteração derivada da erosão dos granitos, com 20/30 metros de espessura, em que existe circulação hídrica por poros (LNEG, 2010). No que respeita à recarga do aquífero, esta ocorre por

infiltração directa da precipitação e por influência dos cursos de água superficiais, estimando-se que a taxa média de recarga na zona se situe cerca dos 10% (LNEG, 2010).

Segundo o Plano Director Municipal de Nisa (2010), no Concelho é possível identificar 2 sectores aquíferos que de um modo geral coincidem com as áreas referidas na Figura 10:

O sector aquífero pouco produtivo Amieira - Montalvão (Anexo 5a), englobando a parte norte dos Concelhos de Nisa, Castelo de Vide e Marvão, sendo constituído basicamente por rochas metamórficas de carácter xistento. Neste sector está localizada uma crista quartzítica (Serra de S. Miguel) e uma faixa de corneana (na orla de contacto da zona de granitos com a de xistos).

O sector aquífero das rochas ígneas (ou granitos) de Nisa, Portalegre e Santa Eulália (Anexo 5b), subdivide-se em 2 secções, uma ocupando a parte sul do Concelho de Nisa e Castelo de Vide, além de partes dos concelhos do Crato, Portalegre e Alter do Chão, e a outra, mais a sul, ocupa parte dos Concelhos de Monforte, Arronches e Elvas. A área de estudo insere-se neste

sistema e o sector em que ocorre é caracterizado pela existência de falhas e fracturas; de modo que o escoamento subterrâneo, apresenta características próprias dos meios fissurados (C.M.N., 2010a).

O sistema aquífero das rochas ígneas apresenta uma produtividade baixa, com um caudal instantâneo inferior a 1l/s. Do ponto de vista hidroquímico, estas águas são classificadas predominantemente como bicarbonatadas sódicas, pouco cloretadas e com baixa concentração de sulfatos e nitratos, de acordo com a classificação de Piper (Figura 11), com fraca mineralização, pH baixo, dureza branda a moderada (C.M.N., 2010a).

Apesar dos sistemas aquíferos serem considerados como um sistema único, devido à interligação das diferentes falhas e fracturas, as características físico-químicas da água podem variar em função dos diferentes percursos ao longo da circulação no interior da crosta terrestre. Neste sentido, é possível constatar diferenças de composição química entre várias zonas de emergência, tal como acontece com nas termas da Fadagosa de Nisa. Pela consulta do diagrama de Piper, que permite classificar as águas em função da sua composição das espécies iónicas dominantes, é possível verificar a diferença entre as águas da zona termal, sendo águas bicarbonatadas sódicas, e da restante zona do aquífero, de composição variada (Figura 11) (Catrapona et al., 2009).

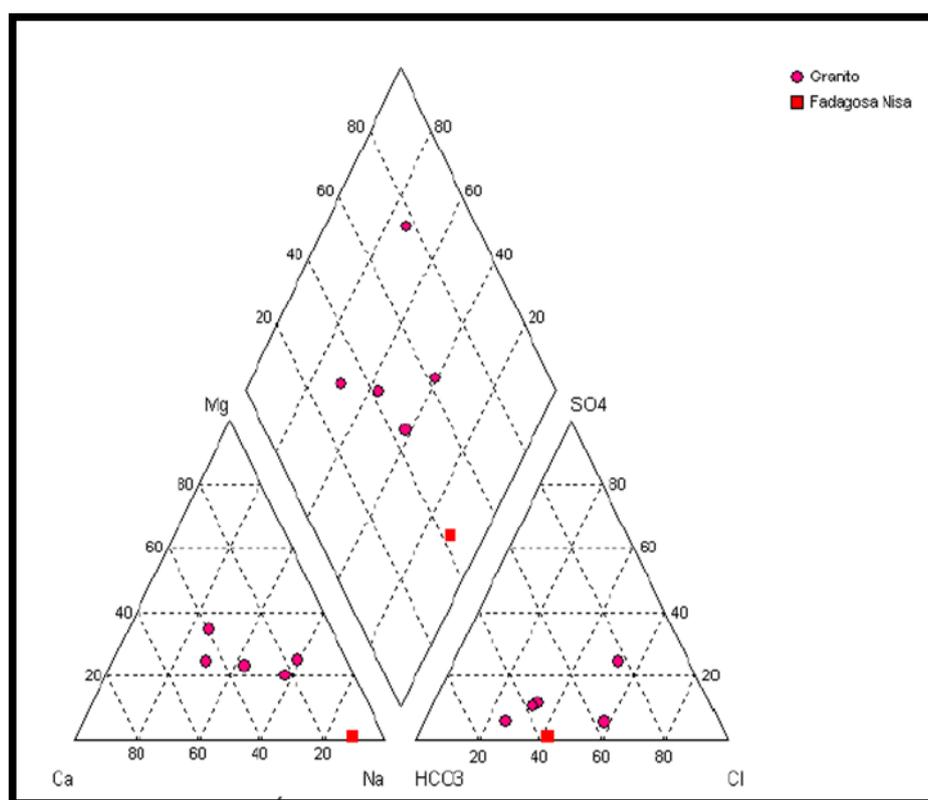


Figura 11 - Diagrama de Piper para as águas provenientes de formações graníticas e das termas da Fadagosa de Nisa (fonte: LNEG, 2010).

Nas zonas graníticas, não é muito abundante a ocorrência de nascentes e, no caso da Fadagosa de Nisa existe uma única nascente com um baixo caudal, o que sugere uma fraca meteorização da rocha granítica (Calado, 2001). Com a perfuração em profundidade, na zona das

termas, a 65m de profundidade (furo ACP4), foi possível obter um caudal 40 vezes superior ao caudal da nascente, com uma produtividade de 2 l/s, mantendo uma boa estabilidade composicional da água ao longo do ano (Calado, 2001). As águas da nascente da Fadagosa de Nisa estão condicionadas pela ascensão ao longo de intersecção das falhas que originam esta emergência, estando expressa através de numerosas fracturas e de uma ampla caixa de falha (A. Cavaco Lda., 1983). As águas termais da Fadagosa de Nisa, apresentam-se límpidas, incolores, com cheiro e sabor sulfúreos, são bicarbonatadas e cloretadas sódicas, fluoretadas, sulfídricas, com reacção alcalina e elevada radioactividade por radão (A. Cavaco Lda., 1983).

3.4 Clima

Para se efectuar a caracterização climática do Concelho de Nisa, utilizaram-se os dados de base mencionados no Plano Director Municipal de Nisa (2010), sendo possível constatar que a falta de dados actualizados, não permite uma caracterização actual, mas ao considerar que as alterações climáticas envolvem largos períodos de tempo, pode considerar-se que os dados em questão são aplicáveis no âmbito do estudo em curso.

Pela análise dos valores da temperatura, pode constatar-se que a temperatura média diária na área de estudo varia entre os 12,5° C e os 15°C (Anexo 6), em que os meses mais quentes são Julho e Agosto, ao contrário dos meses de Janeiro e Fevereiro, que apresentam as temperaturas mais baixas. Em relação à temperatura média anual, esta é de 15,5°C com uma amplitude térmica anual de 15°C (C.M.N., 2010a).

Ao analisar a humidade relativa, é possível verificar que esta oscila entre 75% e 80% na quase totalidade do Concelho (Anexo 7), apresentando um valor médio anual de 70% (C.M.N., 2010a). Os valores de menor percentagem de humidade foram registados no mês de Agosto, com valor médio inferior a 60%, enquanto o mês de Janeiro apresenta o valor médio mais elevado, superior a 80% (C.M.N., 2010a). Ao considerar a variação diária da humidade nos meses referidos anteriormente, é possível constatar que este parâmetro oscila entre 90% (Janeiro) e 80% (Agosto) no período da manhã, enquanto no período da tarde, varia entre 60% (Janeiro) e 30 % (Agosto) (C.M.N., 2010a).

Em relação à precipitação, esta apresenta valores totais anuais que variam entre 700 e 800 mm no Concelho de Nisa, com um total de dias de precipitação entre 50 a 75 (Anexo 8), apresentando um valor médio mensal de 56 mm. O mês de Dezembro é mais chuvoso, ao contrário dos meses de Julho e Agosto que são os mais secos. Neste concelho, 74% da precipitação concentra-se no semestre entre Outubro a Março, enquanto 26% ocorre no período entre Abril e Setembro (C.M.N., 2010a).

Em relação aos valores da evapotranspiração, estes oscilam entre 500 e 600 mm em todo o Concelho de Nisa (Anexo 9).

Em suma, pode considerar-se que o concelho de Nisa apresenta as características climáticas típicas da zona interior centro de Portugal, com forte contornos mediterrânicos. A precipitação concentra-se nos meses de Outono e Inverno, com a possibilidade de ocorrência de

fortes chuvadas no início do Outono. Em relação ao período de seca, este corresponde aos meses de Primavera e Verão, onde se verifica a ausência de chuva. Em relação à temperatura, os valores mais elevados coincidem com os meses de Verão, como seria de esperar.

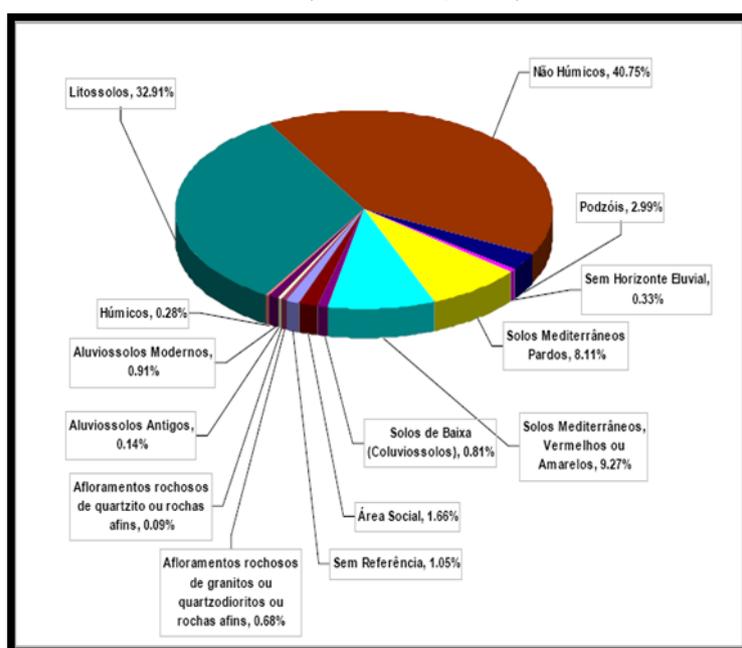
3.5 Ocupação e uso do solo

De um modo geral, as características do solo assumem um padrão semelhante à litologia da área em estudo, pois as características físico-químicas dos solos são directamente influenciadas pela natureza do substrato geológico que os originam. Assim sendo, segundo a caracterização biofísica do Concelho de Nisa, é possível identificar 2 unidades pedológicas principais (C.M.N., 2010a) (Anexo 10).

Os *Litossolos*, a norte do concelho, caracterizam-se por serem solos incipientes associados a formações xisto-grauváquicas. Apresentam uma espessura reduzida, derivados de rochas consolidadas e pobres em matéria orgânica, surgindo geralmente em zonas de relevo mais acentuado. Geralmente, são solos com fraca aptidão cultural e sujeitos a processos de erosão.

Os *Solos Litólicos Não Húmicos*, a sul do Concelho e ocorrendo na área de estudo, caracterizam-se por serem solos pouco insaturados, ocorrendo normalmente em zonas de relevo aplanado, onde predominam as formações graníticas. Geralmente são solos pouco evoluídos e delgados, originados principalmente pela meteorização física da rocha mãe. Contêm um nível baixo de matéria orgânica devido à acção do clima, o que associado à sua reduzida profundidade, torna a actividade agrícola limitada.

Tabela XI - Distribuição das diferentes unidades pedológicas no Concelho de Nisa (fonte: C.M.N., 2010a).



Além das unidades pedológicas referidas, no Concelho de Nisa podem identificar-se outras, em pequenas percentagens, como é o caso dos Solos Mediterrâneos Vermelhos ou Amarelos (9,27%), dos Solos Mediterrâneos Pardos (8,11%) e dos Pódzóis (2,99%). As restantes unidades existentes no Concelho apresentam percentagens vestigiais, como pode ser verificado na Tabela XI (C.M.N., 2010a). Em relação à área das termas da Fadagosa

de Nisa e respectivas zonas de protecção, podem encontrar-se solos Litólicos não Húmicos e solos

Hidromórficos, representando estes últimos uma reduzida percentagem a nível do Concelho (Anexo 11). Pela análise dos tipos de solos existentes no Concelho de Nisa, é possível referir que predominam os solos com capacidade de uso muito baixa e baixa, aliada a limitações resultantes de riscos de erosão e a limitações de solo na zona radicular, que na generalidade limita o uso do solo para actividades agrícolas, destinando-os preferencialmente para aproveitamentos florestais ou pastagens naturais (C.M.N., 2010a).

A nível das classes de uso do solo, é possível constatar que mais de metade do Concelho (58,18%) é ocupada por áreas florestais e meios semi-naturais, sendo o eucalipto a espécie predominante (C.M.N., 2010a).

Em relação às áreas agrícolas, estas ocupam cerca de 38% da área do concelho, predominando nas zonas sul e sudeste do concelho, onde está inserida a área de estudo (C.M.N., 2010a). Ao considerar a área

das Termas da Fadagosa de Nisa e respectivas zonas de protecção, pode verificar-se que predominam as áreas agrícolas heterogéneas (Figura 12). Localmente, é possível verificar a existência de áreas de culturas anuais; de culturas permanentes e áreas de floresta. Por fim, é também possível identificar zonas descobertas e com pouca vegetação e áreas de floresta heterogénea dispersas pelas zonas de protecção (Figura 12).

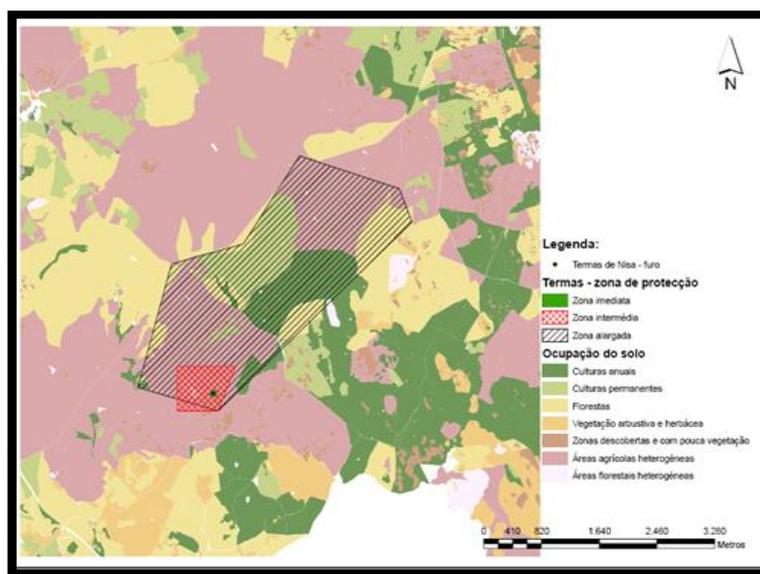


Figura 12 - Ocupação do solo na zona de protecção das termas da Fadagosa de Nisa (fonte: C.M.N., 2010a).

3.6 Actividades dominantes

Ao nível das actividades dominantes, predomina o sector de actividade terciário (63%), seguido do sector secundário (28%) e, por fim, o sector primário (9%). No caso do sector primário, este engloba basicamente a pesca fluvial, a produção animal e a agricultura, considerando-se cada vez, mais como uma segunda actividade, ligada ao lazer, ou como complemento de outra ocupação principal. A nível do sector secundário, predominam as actividades transformadoras relacionadas com a alimentação, têxteis, madeiras e cortiça; tendo vindo a apresentar um decréscimo ao longo dos anos. A nível do sector terciário, por sua vez, predomina a construção, retalho grossista, alojamento e restauração.

Ao analisar as actividades na envolvência da área de estudo (freguesias de Arez e Espírito Santo), esta segue a tendência do resto do concelho, com a predominância do sector terciário, seguido do sector primário, com destaque para a agricultura, produção animal, caça, por

oposição aos 9% ocupados pelo sector secundário (C.M.N., 2010b). Nas zonas adjacentes às termas da Fadagosa de Nisa é possível verificar a predominância da agricultura (C.M.N., 2010b).

4. Avaliação da vulnerabilidade

A vulnerabilidade do sistema aquífero da captação das termas da Fadagosa de Nisa, foi avaliada através do cálculo do índice de vulnerabilidade DRASTIC desenvolvido por Aller et al. (1987). Para a aplicação desta metodologia foi utilizada informação de base, conforme mencionado na Tabela XII. No caso da cartografia, está incluída na Série cartográfica Nacional (1:10 000).

Tabela XII - Informação de base aplicada no índice de vulnerabilidade DRASTIC.

Informação Base	Fonte
Delimitação do Concelho de Nisa	Cartas militares nº 314;315;323;324;325;325a;325b;333;334;335;345;346
Área de estudo	Câmara Municipal de Nisa
Pontos de água	Administração da Região Hídrica - Tejo Câmara Municipal de Nisa
Carta geológica do concelho de Nisa	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
Carta de solos do concelho de Nisa	Câmara Municipal de Nisa
Carta de declives do concelho de Nisa	Câmara Municipal de Nisa
Valores de Recarga do concelho de Nisa	Administração da região hídrica - Tejo
Valores da condutividade	Bibliografia diversa
Carta de Falhas e Lineamentos	Câmara Municipal de Nisa
Localização do furo das Termas e áreas de protecção	Câmara Municipal de Nisa

Para o cálculo do índice de vulnerabilidade DRASTIC foram quantificados os respectivos parâmetros e correspondentes ponderações para a área seleccionada. Recorreu-se ao software ArcMAP 9.3.1 da ESRI, tendo por base o sistema de coordenadas “Datum 73; Hayford Gauss; IPCC”, para o processamento dos atributos.

A captação das termas da Fadagosa de Nisa está localizada na zona correspondente ao sector pouco produtivo dos granitos de Nisa (Norte e Este). A área em estudo corresponde à intersecção do sector referido com os limites do Concelho - Oeste e Sul - para aplicação do índice de vulnerabilidade DRASTIC (Figura 13).

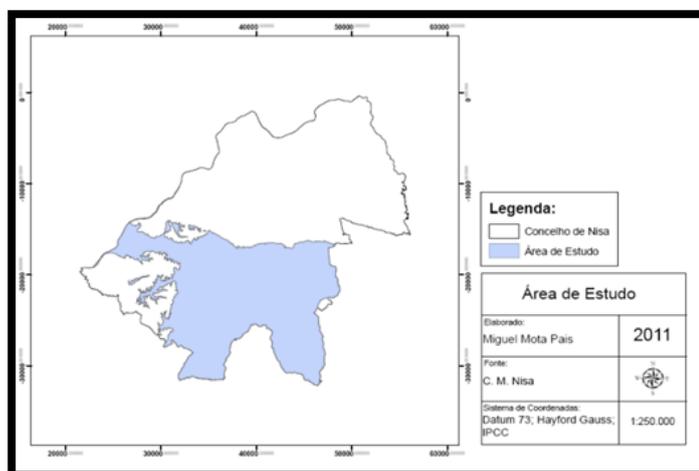


Figura 13 - Área de estudo para determinação do índice de vulnerabilidade DRASTIC.

4.1 Quantificação dos parâmetros

4.1.1 Profundidade da zona saturada (D)

O cálculo deste parâmetro teve por base as características de um conjunto de 198 pontos correspondentes a captações de água, cedido pela Câmara Municipal de Nisa e pela Administração da Região Hídrica (Figura 14). A profundidade foi interpolada, recorrendo ao algoritmo “inverso da distância ponderada” - *Inverse Distance Weighted* (IDW). Este método de

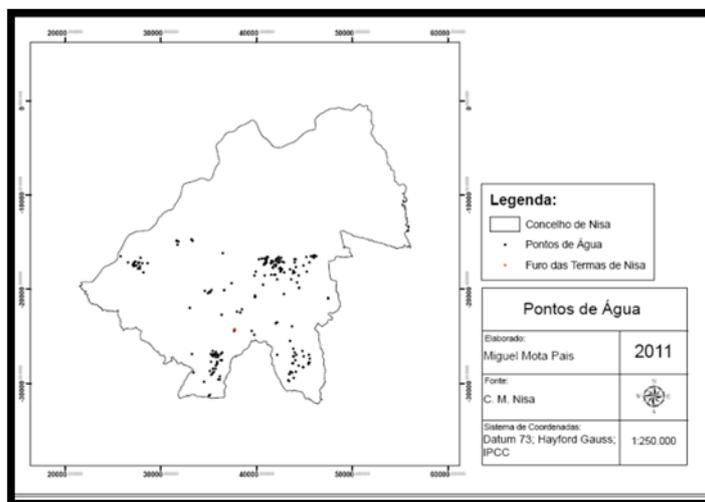


Figura 14 - Pontos de água

análise interpola o valor do atributo, para zonas onde não é conhecido, tendo por base a média ponderada da variável nas amostras conhecidas na vizinhança. Os ponderadores obtêm-se atribuindo um peso superior às amostras mais próximas das zonas onde se pretende interpolar o atributo. Assume-se que o valor da variável em estudo, no ponto desconhecido, é mais influenciado pelo valor verificado nas amostras que lhe estão mais próximas (Matias, 2010). A análise da superfície obtida por interpolação permite constatar que as profundidades médias são sempre superiores ao 30,45m, correspondendo ao índice 1 (menos vulnerável) (Figura 15; Tabela II).

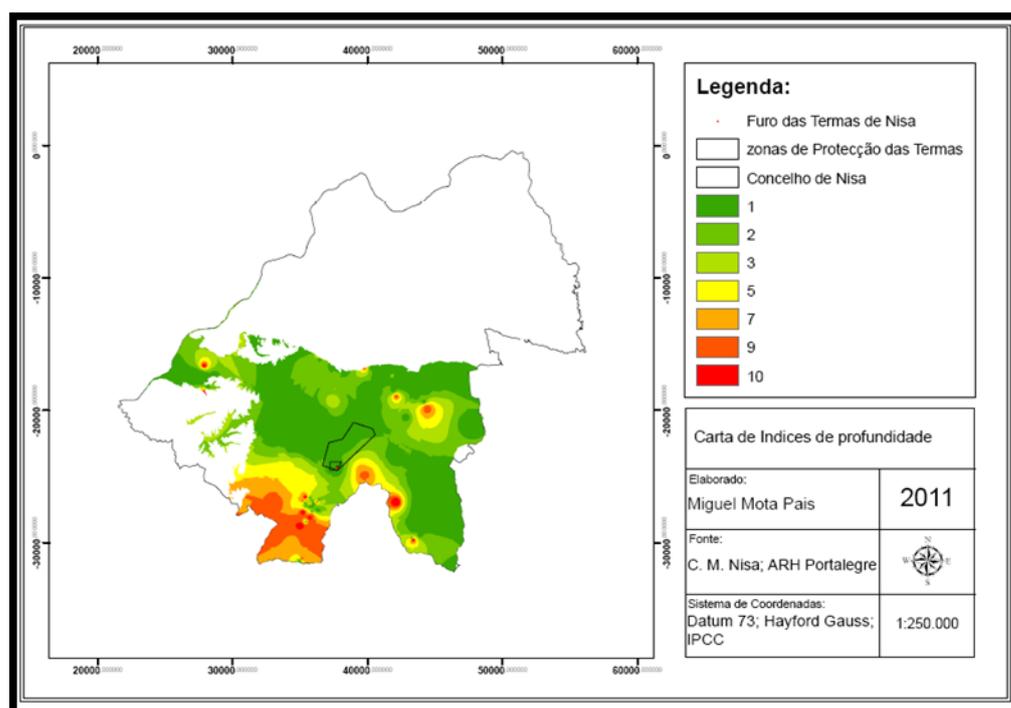


Figura 15 - Carta de índices de profundidade

4.1.2 Recarga do aquífero (R)

Este parâmetro tem por base os dados contidos no PDM de Nisa (C.M.N., 2010a), onde se refere que a recarga média para a zona de granito de Nisa é de 106 mm/ano, correspondendo ao valor de índice igual a 6 (Figura 16; Tabela III).

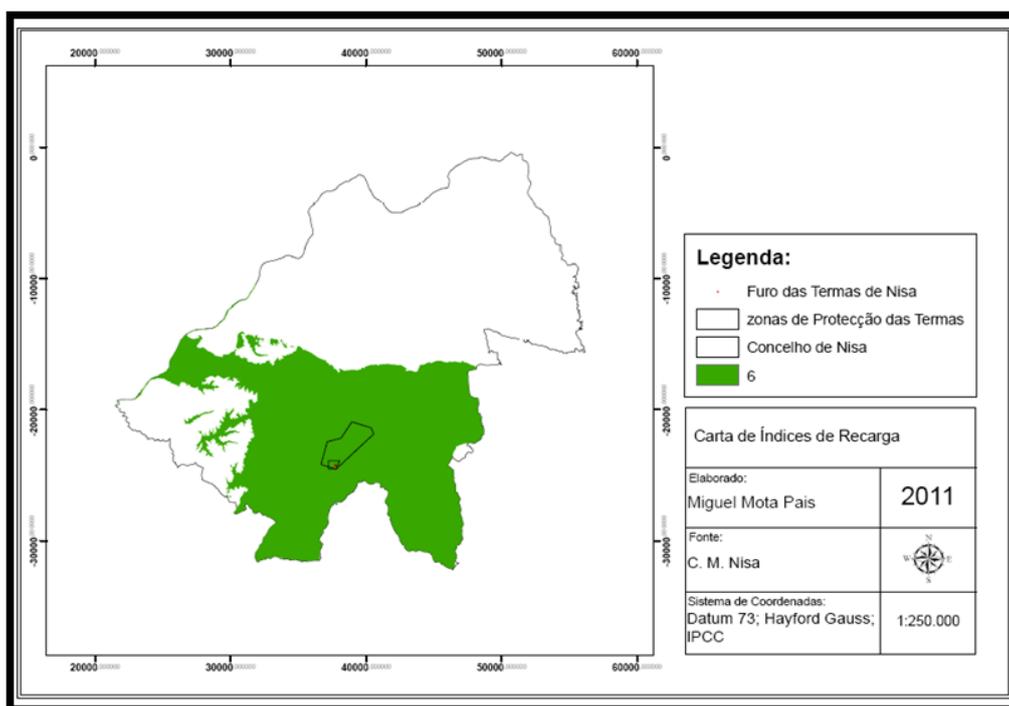


Figura 16 - Carta de índices de recarga.

4.1.3 Material do aquífero (A)

A determinação da litologia do aquífero, teve por base a Carta Geológica do Concelho de Nisa, elaborada pelo LNEG (anexo 2; Tabela IV). Da atribuição dos diferentes índices às várias litologias existentes, é possível constatar a prevalência do índice 4, correspondente ao predomínio de rochas magmáticas na área de estudo (Figura 17). Pode considerar-se a uniformidade da litologia a diferentes profundidades, como consequência das características da geologia da zona em estudo e das referências efectuadas pelo LNEG no “Relatório Técnico sobre os Recursos Geológicos e Hidrogeológicos do Município de Nisa” (2010), onde é mencionado o resultado de quatro prospecções geológicas efectuadas em locais distintos pela empresa Granitos da Maceira, para determinar a viabilidade da exploração comercial do granito, tendo sido encontrado vários tipos de granito com ou sem fracturas em log`s litológicos ao longo das perfurações realizadas, consoante o local. No mesmo relatório também é mencionado 3 prospecções efectuadas pelo LNEG, tendo obtido resultados semelhantes.

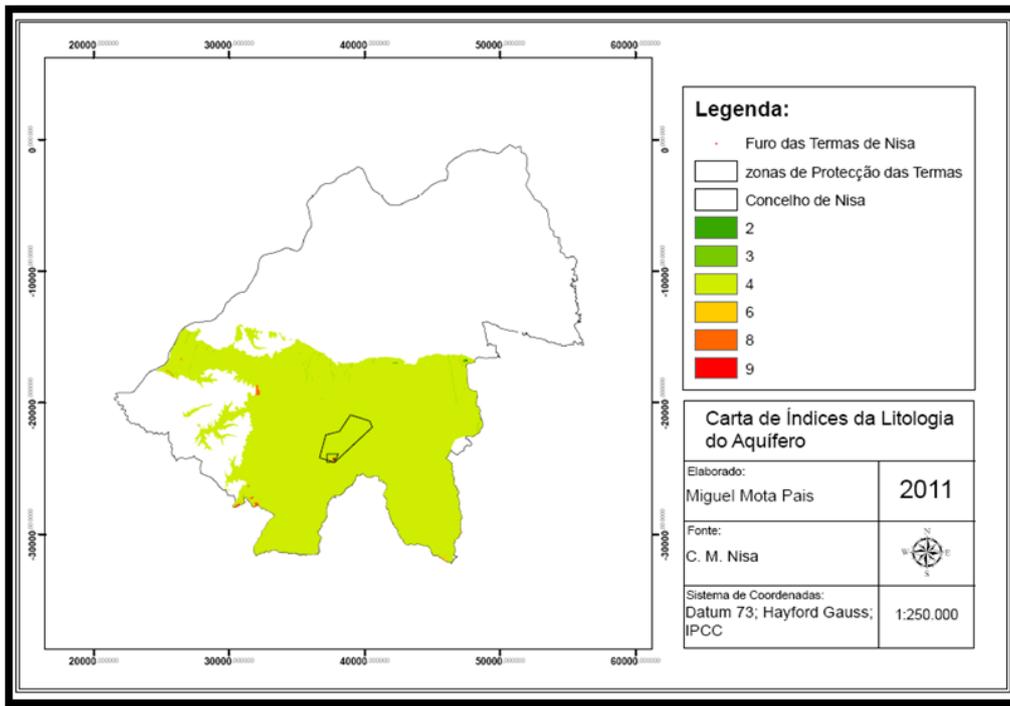


Figura 17 - Carta de Índices do material do Aquífero.

4.1.4 Tipo de solo (S)

Este parâmetro tem por base a Carta de solos do Concelho de Nisa (anexo 10). Foram atribuídos índices aos vários solos que ocorrem na área de estudo, de acordo com a escala do índice DRASTIC (Figura 18; Tabela V). Verifica-se que predominam os Solos Litólicos, correspondendo ao índice 9 (Figura 19). Nas situações onde se verifica a existência de vários tipos de solos, escolheu-se aquele a que corresponde a maior percentagem de ocupação, na região em estudo.

FID	Shape *	MSLIIK	LABEL MAHC	identifica	indice
0	Polygon	172418	168/la ASoc	afloramentos rochosos	10
1	Polygon	172519	268 Ex 10,0,0	solos incipientes	10
2	Polygon	170035	36 Ex+Arx 9,1,0	solos incipientes	10
3	Polygon	170050	176 Px(p)+Vx(d,p) 6,4,0	solos argiluiados	6
4	Polygon	170052	185 Vx(p)+Vx(d,p) 6,4,0	solos argiluiados	6
5	Polygon	170055	182 Vt(p)+Srt(p)+Pat(d,p) 5,3,2	solos litolicos	9
6	Polygon	170058	166 Px+Sb 6,4,0	solos argiluiados	6
7	Polygon	170073	180 Ppr(p) 10,0,0	solos podzolizados	9
8	Polygon	170053	187 Srt(p)+Vt(p)+Ppr(p) 5,3,2	solos argiluiados	6
9	Polygon	170335	174 Sb+Sb(p) 6,4,0	solos incipientes	10
10	Polygon	170051	177 Pg 10,0,0	solos litolicos	9
11	Polygon	170049	175 Vxr(p) 10,0,0	solos argiluiados	6
12	Polygon	170066	179 Vt(p)+Srt(p) 7,3,0	solos litolicos	9
13	Polygon	170054	186 Pg+Pg(d) 6,4,0	solos litolicos	9
14	Polygon	170057	167 Px+Px(d) 6,4,0	solos argiluiados	6
15	Polygon	170060	165 Pgn 10,0,0	solos argiluiados	6
16	Polygon	170056	178 Pgn 10,0,0	solos argiluiados	6
17	Polygon	170067	168 Vxr(p)+Par(p) 7,3,0	solos argiluiados	6
18	Polygon	170059	160 ASoc	area social	10
19	Polygon	170068	181 Ppr(p)+Prt(p)+Vt(p) 6,2,2	solos podzolizados	9
20	Polygon	170079	202 Pg 10,0,0	solos litolicos	9
21	Polygon	170065	200 Vt(p) 10,0,0	solos litolicos	9
22	Polygon	170117	229 Pg+Pg(d) 7,3,0	solos litolicos	9
23	Polygon	170169	147 Pgn+Sb 7,3,0	solos argiluiados	6

Figura 18 - Tabela de atributos da carta de solos.

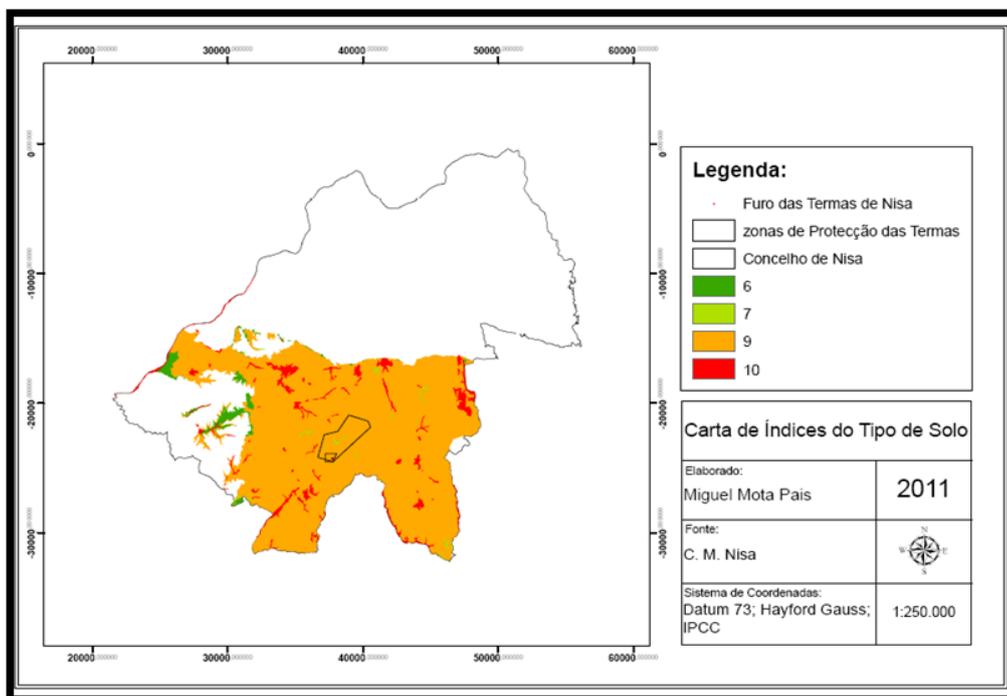


Figura 19 - Carta de índices do tipo de solo.

4.1.5 Topografia (T)

Este parâmetro baseou-se na carta de declives elaborada pela Câmara Municipal de Nisa (2010). Neste caso, como as classes de declives não coincidiam com as classes deste atributo, para o índice DRASTIC e, tendo em consideração que a área em estudo é essencialmente plana e, que os valores em causa são aproximados, optou-se por reajustar as classes de acordo com o procedimento mostrado na Figura 20 (Figura 20; TABELA VI). Assim, pela análise da carta de índices da topografia (Figura 21), verifica-se que os mesmos oscilam essencialmente em torno de 5, 9 e 10, correspondendo a zonas com declives mais suaves. Apenas na zona oeste da área de estudo ocorrem declives mais elevados, localizados próximo do rio Tejo.

FID	Shape	GRIDCODE	designacao	Area	Hectares
0	Polygon	1	0 - 3%	11788800	11788,88
1	Polygon	2	3 - 6%	167030300	16703,03
2	Polygon	3	6 - 9%	98959500	9895,95
3	Polygon	4	9 - 16%	120408100	12040,81
4	Polygon	5	16 - 25%	71809100	7180,91
5	Polygon	6	> 25%	70100600	7010,06

Figura 20 - Tabela de atributos dos declives.

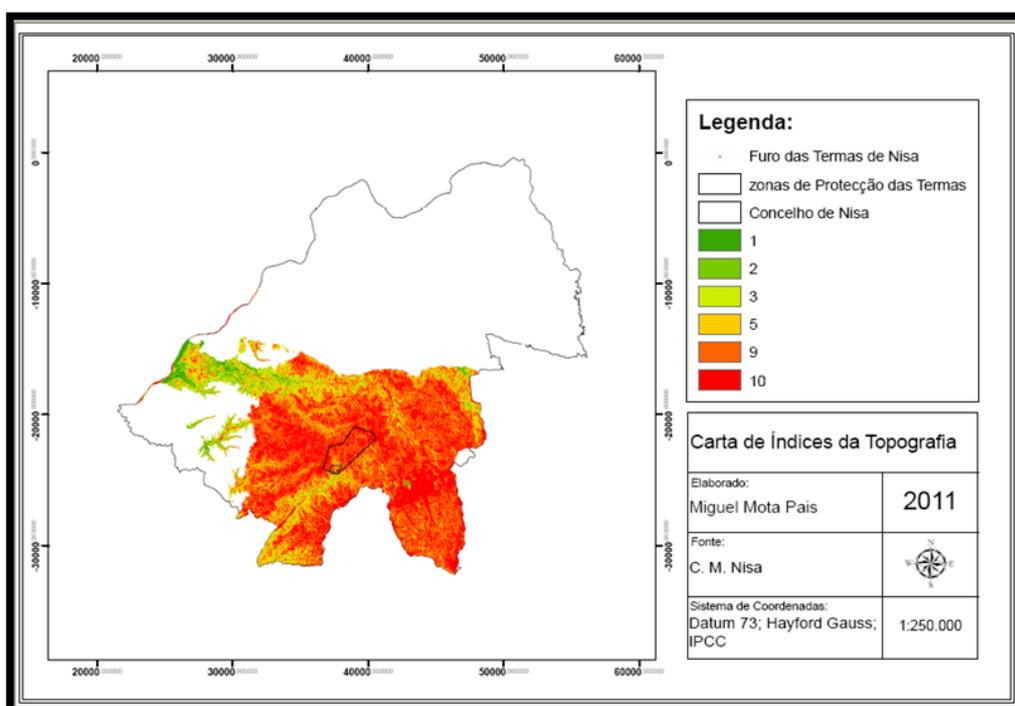


Figura 21 - Carta de índices da topografia.

4.1.6 Influência da zona vadosa (I)

Este parâmetro considera os mesmos dados de base utilizados para o material do aquífero, pelo que devido às características litológicas desta região, os resultados são semelhantes (Figura 22; Tabela 7).

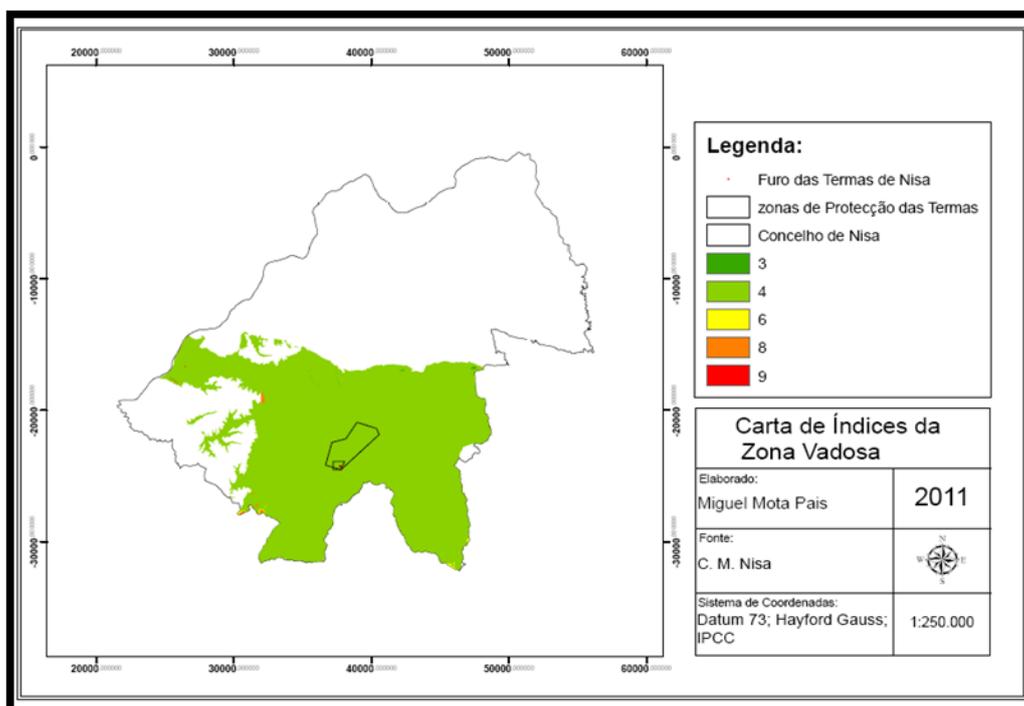


Figura 22 - Carta de índices da zona vadosa.

4.1.7 Condutividade hidráulica (C)

A determinação deste parâmetro teve por base a consulta de outros trabalhos com aplicação da metodologia do índice de vulnerabilidade DRASTIC. Tendo em consideração a geologia da área de estudo, é possível verificar a predominância de formações graníticas, onde se assume em média uma condutividade hidráulica de $3,2 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ e formações metamórficas, com uma condutividade hidráulica de $1,6 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ (Mendes, 2006). Estes valores sendo inferiores a 5 metros por dia, correspondem à classe 1 (Figura 23; Tabela 8).

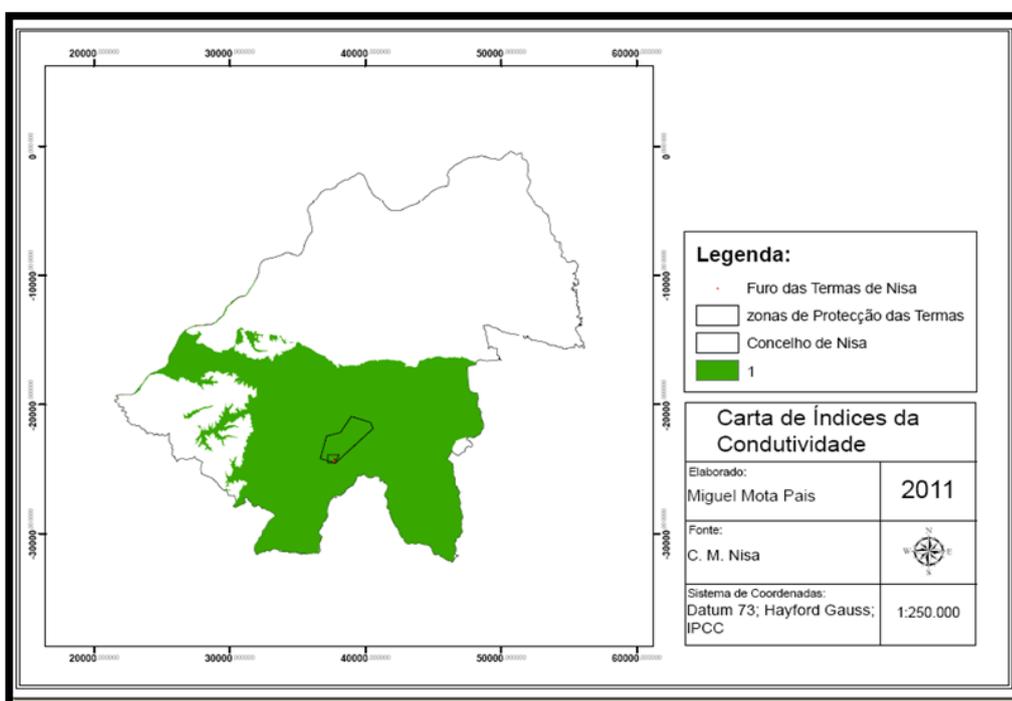


Figura 23 - Carta de índices da condutividade.

4.2 "Raster Calculator"

Após a elaboração dos mapas correspondentes aos valores estimados para as variáveis a considerar no cálculo do índice DRASTIC, procedeu-se à sua conversão para o formato "raster" (no qual é atribuído um determinado valor a cada *pixel*), o cálculo do DRASTIC - vulnerabilidade intrínseca - para a região em estudo realizou-se recorrendo à ferramenta "raster calculator" (Figura 24; Tabela 9), intersectando os mapas obtido antes e representativos das diferentes classes dos atributos a processar.

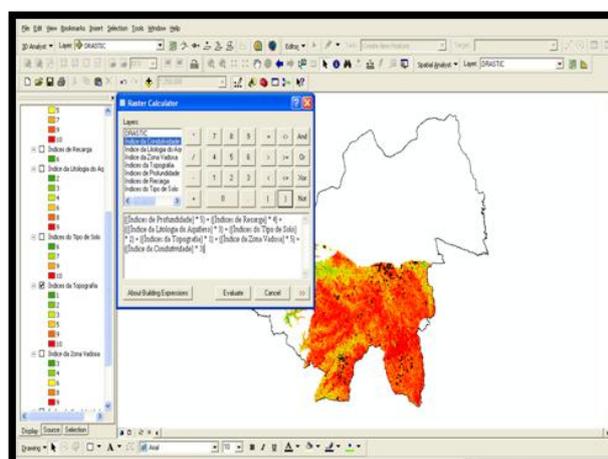


Figura 24 - "Raster calculator".

4.3 Mapa de vulnerabilidade - análise de síntese

Em síntese obtiveram-se 8 mapas, 7 mapas relativos a cada um dos parâmetros a introduzir no cálculo do índice DRASTIC e um mapa final, resultante do somatório de todos eles, correspondendo à cartografia da vulnerabilidade intrínseca, para a região em estudo a partir do cálculo do índice DRASTIC (Figura 25).

Da análise da vulnerabilidade DRASTIC, é possível verificar que, apesar de os valores oscilarem entre 67 e 153 (Tabela 1), a maioria da área de estudo apresenta baixa vulnerabilidade, com valores a variarem predominantemente entre 67 e 119 (verde), (Figura 25). Em relação às áreas com vulnerabilidade moderada (amarelo), verifica-se a existência de manchas de pequenas dimensões, dispersas pela zona de estudo, havendo uma área com maiores dimensões a SW da captação da Fadagosa de Nisa. Esta classe apresenta valores entre 119 e 149 estando geralmente associada à existência de pontos de água.

Uma situação que merece destaque, é a dos poços de S. Gens. Estes 2 pontos de água estão localizados próximos (distam 500m), e os parâmetros em análise apresentam as mesmas características. As diferenças entre eles resumem-se aos declives e à profundidade e, nestes casos os valores em questão são mínimos. Tal situação coloca estes pontos de água em classes de vulnerabilidade diferentes (Figura 26). Em relação a esta situação, ainda se pode mencionar a existência duma falha que coincide com um dos poços e localiza-se próximo do outro (70 m), o que pode indicar que a água que abastece estes poços, pode eventualmente ter origem na mesma fissura (Figura 26).

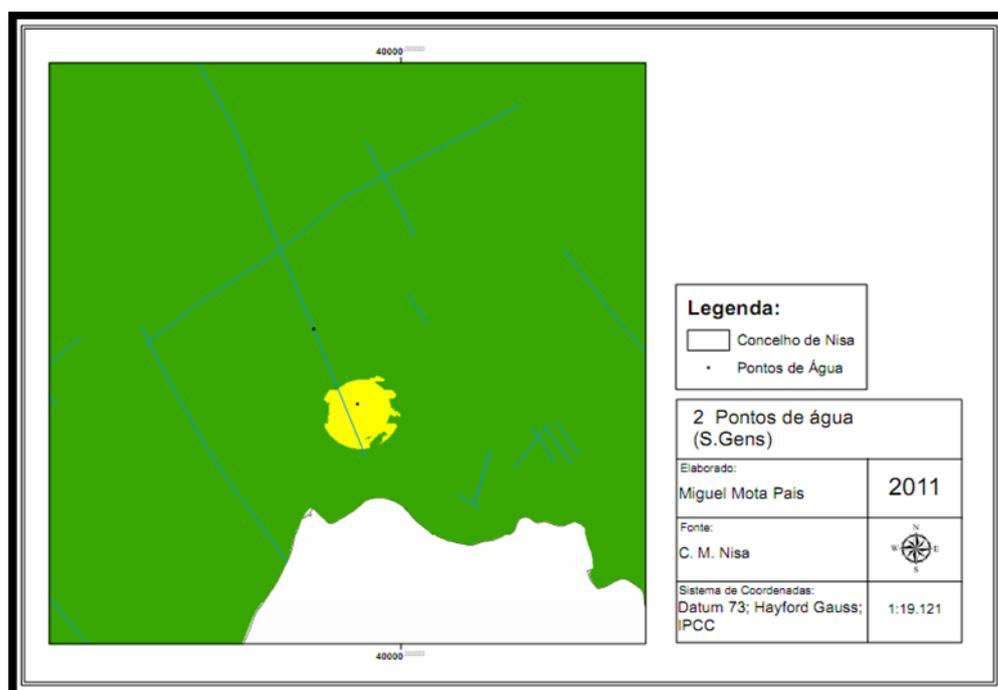


Figura 25 - Pontos de água (poços de S. Gens).

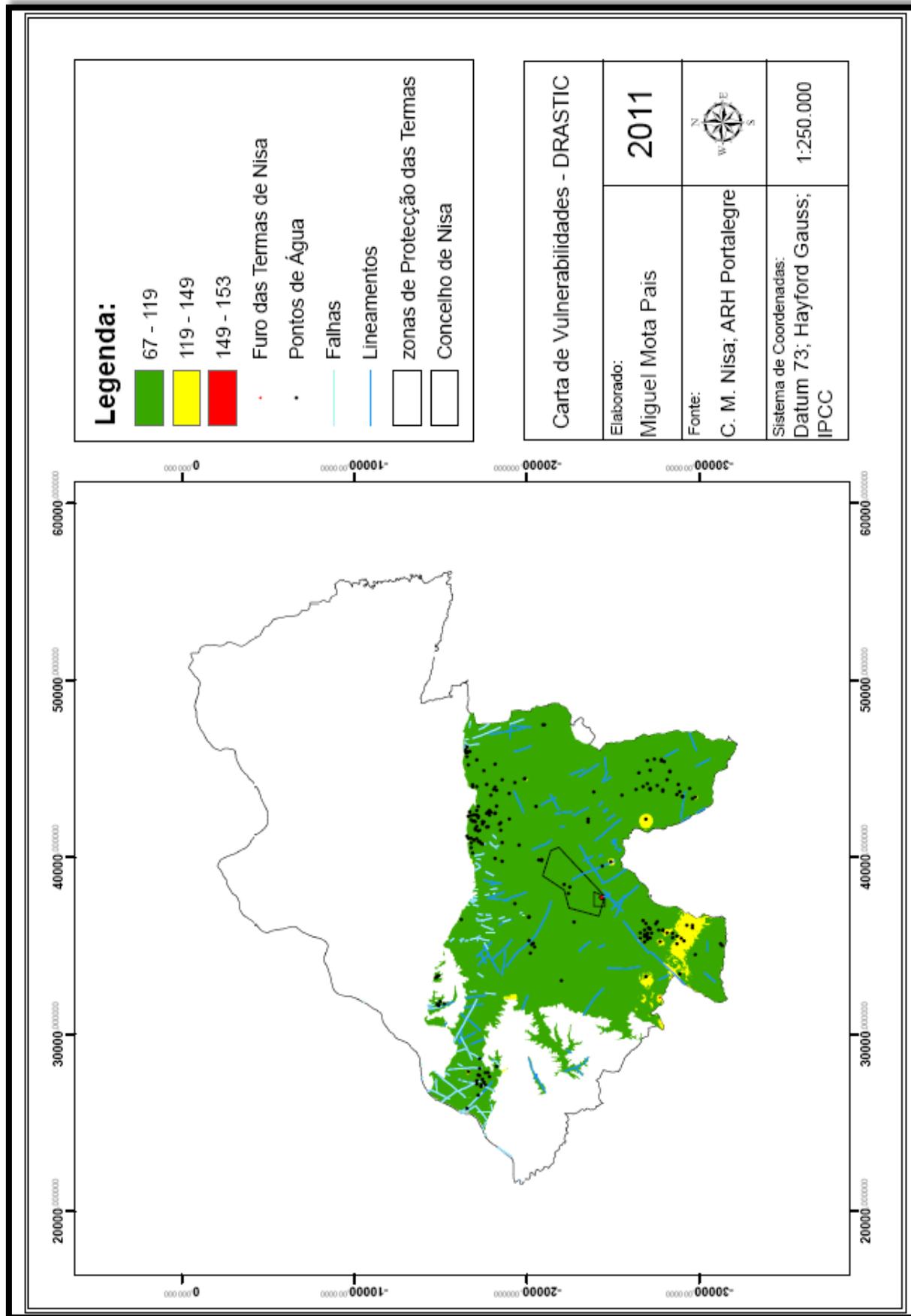


Figura 26 - Carta de vulnerabilidade - DRASTIC.

Na área de estudo é possível detectar 2 pequenas manchas que apresentam uma vulnerabilidade alta (Figura 27). Devido às dimensões e localização destas áreas, as mesmas não são significativas no âmbito deste estudo.

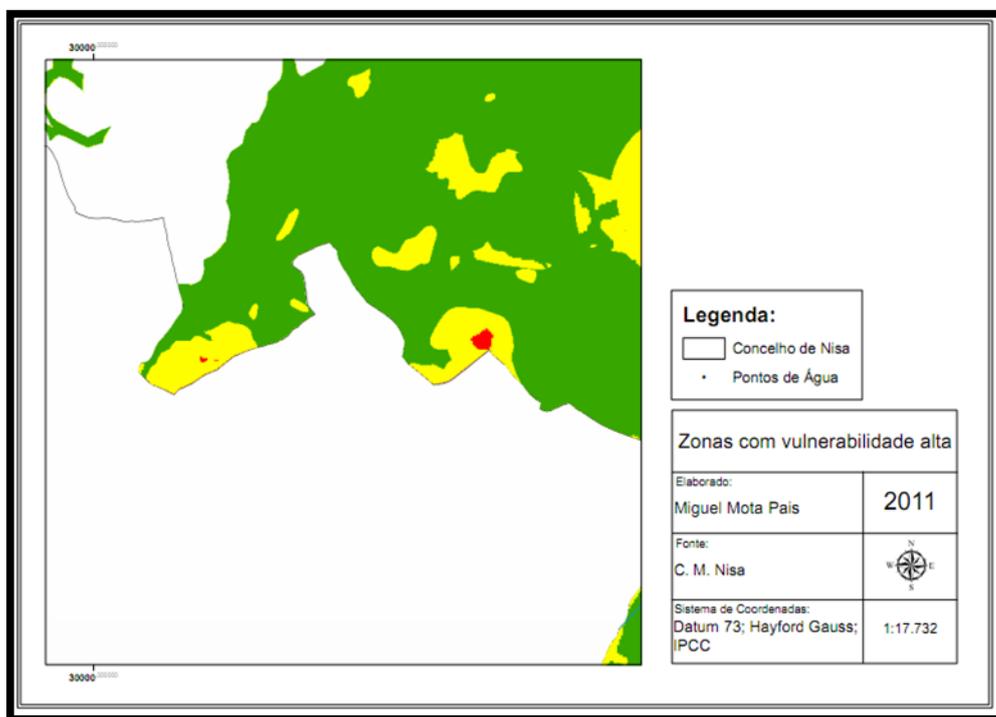


Figura 27 - Zonas com vulnerabilidade alta.

Em relação à captação das termas da Fadagosa de Nisa e respectivas zonas de protecção, estas apresentam-se numa classe de vulnerabilidade DRASTIC baixa (Figura 28). Apesar do furo se localizar em cima duma falha, a profundidade do mesmo está situada a 65m, o que tem uma influência preponderante na obtenção deste resultado. Nos restantes parâmetros, apesar das suas características individuais, em conjunto apresentam um contributo reduzido na quantificação da vulnerabilidade.

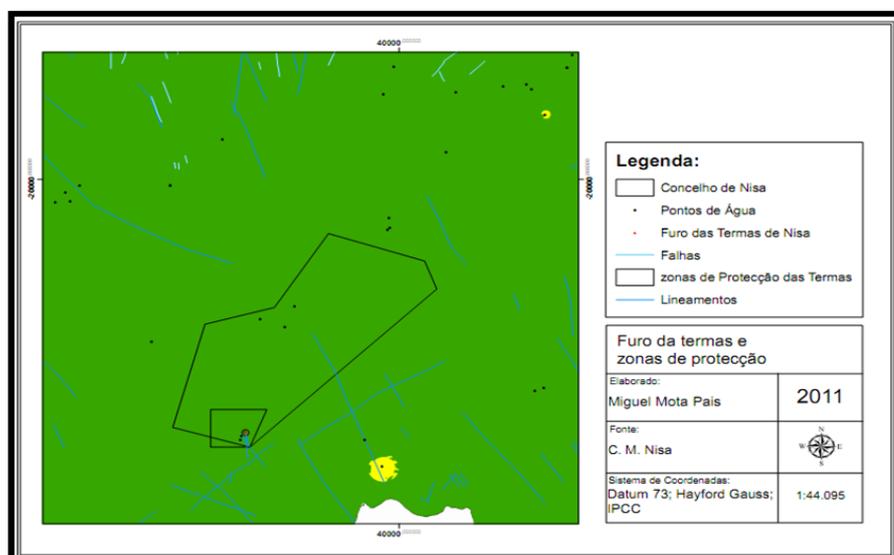


Figura 28 - Furo da captação da Fadagosa de Nisa (ACP4) e respectivas zonas de protecção.

5. Informação complementar

Segundo Calado (2001), a composição das águas das termas é estável. Tal situação foi demonstrada após o tratamento estatístico de 32 análises efectuadas no furo ACP4 entre 1990 e 1996 abrangendo condições hidrometeorológicas extremas (Verão e Inverno). Esta estabilidade pode fornecer indicações que apoiam a baixa vulnerabilidade obtida para a captação da Fadagosa de Nisa, pela aplicação do índice de vulnerabilidade DRASTIC, para todo o ano hidrológico.

Na avaliação e interpretação de diversas análises físico-químicas obtidas na captação da Fadagosa de Nisa (furo ACP4), no período entre 2001 e 2011 (Figura 29), os resultados das análises físico-químicas, foram separados por semestres; um compreendendo os meses de Novembro a Abril, correspondente ao período húmido, e o período seco englobando os meses de Maio a Outubro. Para avaliar a variabilidade temporal dos diversos parâmetros analisados foram construídos gráficos de variação, os quais forneceram informação relativa à variabilidade temporal dos elementos em estudo.

Da análise dos gráficos, é possível constatar que, de um modo geral, os vários elementos analisados apresentam comportamento variável (Figura 30, Figura 31 e Figura 32). Em relação aos 2 semestres em estudo, o período seco apresenta uma menor variação dos valores comparativamente com o período húmido, com excepção do ião Sulfato, provavelmente devido à aplicação deste elemento químico nos solos para aumento da produtividade agrícola.

Ao considerar os parâmetros físico-químicos, verifica-se que no geral todos eles apresentam estabilidade ao longo do tempo, embora com variabilidades distintas consoante o elemento considerado; algumas inversões de comportamento podem observar-se para alguns atributos, nos dois períodos considerados.

Na avaliação conjunta de alguns parâmetros em consideração, podemos referir, por exemplo, no caso da temperatura da água e da condutividade que se verifica uma relação directa entre eles, em que o aumento de um dos parâmetros corresponde ao aumento do outro (Figura 30). Estes parâmetros seguem um padrão até ao ano de 2009, em que a temperatura e a condutividade apresentam valores superiores no período seco (engloba o verão), como seria de esperar; no ano de 2010 ocorre uma inversão, registando-se os valores mais elevados no período húmido.

Em relação à Dureza e à Sílica, é possível verificar a existência de um comportamento idêntico no período húmido entre 2006 e 2010 o que poderá indiciar uma relação directa no comportamento destes parâmetros (Figura 30).

Período Seco		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Parâmetros Físico-Químicos	Temp. da água	20,10	21,10	20,45	21,00	23,60	21,00	21,00	20,85	21,55	19,73
	pH	8,18	7,92	8,06	8,00	8,07	8,13	8,09	8,22	8,25	8,20
	Condutividade	477,50	481,50	470,50	480,50	509,50	473,50	477,50	478,50	488,00	452,00
	Alcalinidade	26,75	26,15	27,75	27,10	25,85	27,40	27,00	26,40	28,15	27,70
	Dureza	34,00	34,40	34,45	35,30	34,30	35,90	35,10	35,90	37,10	34,15
	Silica	2,85	2,95	3,00	2,84	2,85	2,95	2,90	2,90	2,85	2,80
	Coc total	2,56	2,59	2,67	2,59	2,61	2,54	2,63	2,56	2,63	2,63
	Sulfuração total	20,20	17,70	17,45	19,85	20,35	14,15	14,90	14,60	17,40	14,75
	Resíduo seco a 180°C	311,00	310,50	313,50	314,00	312,50	310,50	316,50	315,50	317,00	308,00
	Fluoreto (F)	9,35	10,20	10,60	10,70	10,35	10,25	10,40	10,65	10,30	10,25
	Cloreto (Cl)	67,50	65,60	65,30	64,60	65,15	65,15	65,85	66,80	65,20	62,05
	Aniões	Hidrogenocarbonato (HCO ₃ ⁻)	153,50	152,50	158,50	155,00	154,00	150,90	156,00	152,50	156,50
Hidrogenossulfureto (HS ⁻)		3,30	2,90	2,90	3,25	3,35	3,35	2,45	2,40	3,00	2,30
Sulfato (SO ₄ ²⁻)		3,90	2,20	2,35	3,25	2,50	4,90	4,90	4,45	3,45	4,10
Nitrato (NO ₃ ⁻)		0,30	0,16	0,13	0,13	0,22	0,16	0,16	0,20	0,16	0,15
Lítio (Li ⁺)		0,53	0,51	0,50	0,50	0,51	0,51	0,52	0,47	0,50	0,49
Sódio (Na ⁺)		101,00	100,30	101,50	101,00	100,35	98,45	101,50	102,50	101,50	99,05
Potássio (K ⁺)		1,95	2,25	2,15	2,00	2,00	2,10	1,95	2,15	2,10	2,10
Magnésio (Mg ²⁺)		0,65	0,71	0,69	0,68	0,68	0,68	0,66	0,69	0,66	0,66
Cálcio (Ca ²⁺)		10,35	10,70	10,45	10,15	10,35	10,65	10,60	10,60	10,20	9,95
Amónio (NH ₄ ⁺)		0,25	0,19	0,21	0,24	0,25	0,22	0,32	0,22	0,19	0,19
Berílio (Be)		0,20	0,25	0,25	0,25	0,23	0,28	0,30	0,24	0,25	0,30
Catiões		Boro (B)	580,50	587,00	588,50	576,00	647,00	603,00	586,00	571,50	589,00
	Manganes (Mn)	53,90	56,10	56,95	55,65	57,55	55,50	53,50	54,75	56,20	56,20
	Arsénio (As)	31,50	29,35	26,80	26,95	29,90	26,25	29,20	27,55	39,85	39,85
	Rubídio (Rb)				45,15	45,95	45,50	45,00	46,20	46,25	46,25
	Estrôncio (Sr)	143,50	154,50	144,60	142,00	148,50	141,50	142,50	145,50	142,50	142,50
	Césio (Cs)	45,50	43,00	47,00	48,00	48,00	47,00	46,90	45,15	39,55	39,55
	Tungsténio (W)	0,05	0,03	0,20	0,08	0,12	0,08	0,09	0,11	0,55	0,55
	Urânio (U)										

Período Húmido		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Parâmetros Físico-Químicos	Temp. da água	20,00	18,80	19,00	18,90	20,00	20,00	19,00	20,00	19,05	20,80
	pH	8,31	8,44	8,24	8,27	8,22	8,36	8,23	8,19	8,01	8,17
	Condutividade	485,00	458,00	458,00	455,00	469,00	456,00	462,00	469,00	464,00	472,00
	Alcalinidade	26,60	26,40	27,00	27,00	26,50	26,90	26,50	26,90	25,00	27,60
	Dureza	33,00	33,40	33,00	33,50	35,10	37,70	35,30	32,40	2,77	2,80
	Silica	3,00	2,80	2,80	2,75	2,80	3,10	3,00	3,00	2,77	2,80
	Coc total	2,59	2,52	2,57	2,66	2,61	2,57	2,65	2,58	2,58	2,67
	Sulfuração total	23,00	21,00	19,50	16,30	16,20	17,30	20,20	19,40	18,60	17,50
	Resíduo seco a 180°C	317,00	318,00	312,00	313,00	312,00	316,00	316,00	310,00	310,00	317,00
	Fluoreto (F)	10,20	9,90	10,60	10,60	10,50	10,60	10,40	10,70	10,70	10,50
	Cloreto (Cl)	70,00	67,50	66,00	66,40	66,00	63,90	67,10	65,70	67,40	64,50
	Aniões	Hidrogenocarbonato (HCO ₃ ⁻)	155,00	152,00	153,00	159,00	156,00	157,00	158,00	154,00	153,00
Hidrogenossulfureto (HS ⁻)		3,60	3,50	3,20	2,70	2,70	2,90	3,30	3,20	3,00	3,00
Sulfato (SO ₄ ²⁻)		3,30	2,10	3,90	2,50	3,30	2,50	2,60	2,40	2,00	3,60
Nitrato (NO ₃ ⁻)		0,30	0,12	0,24	0,12	0,12	0,29	0,12	0,15	0,21	0,21
Lítio (Li ⁺)		0,46	0,48	0,61	0,47	0,49	0,50	0,58	0,47	0,43	0,52
Sódio (Na ⁺)		106,00	103,00	100,00	101,00	98,60	100,00	102,00	101,00	103,00	101,00
Potássio (K ⁺)		1,70	2,10	2,00	2,10	2,00	2,00	2,10	2,00	2,10	2,10
Magnésio (Mg ²⁺)		0,64	0,69	0,72	0,66	0,67	0,74	0,68	0,60	0,67	0,73
Cálcio (Ca ²⁺)		11,00	10,10	10,60	10,00	10,10	11,30	10,90	10,10	9,90	10,70
Amónio (NH ₄ ⁺)		0,27	0,23	0,23	0,20	0,22	0,15	0,17	0,21	0,21	0,19
Berílio (Be)		0,30	0,20	0,27	0,23	0,23	0,22	0,26	0,24	0,22	0,31
Catiões		Boro (B)	606,00	627,00	592,00	529,00	581,00	618,00	597,00	643,00	609,00
	Manganes (Mn)	53,90	55,21	56,80	53,90	53,90	56,10	54,70	57,40	52,80	54,50
	Arsénio (As)	31,00	29,00	29,50	26,00	31,00	31,00	31,20	30,80	28,60	26,80
	Rubídio (Rb)						47,00	47,10	46,00	43,90	45,10
	Estrôncio (Sr)	138,00	148,00	139,30	144,00	146,00	147,00	143,00	143,00	141,00	140,00
	Césio (Cs)	43,10	43,00	50,00	46,00	47,00	49,00	45,00	45,00	54,30	43,30
	Tungsténio (W)	0,04	0,05	0,20	0,08	0,10	0,08	0,10	0,04	0,05	0,04
	Urânio (U)										

Figura 29 - Valores das análises efectuadas na captação ACP4 entre 2001 e 2010 (período seco e período húmido) (Fonte: C.M.N., 2010).

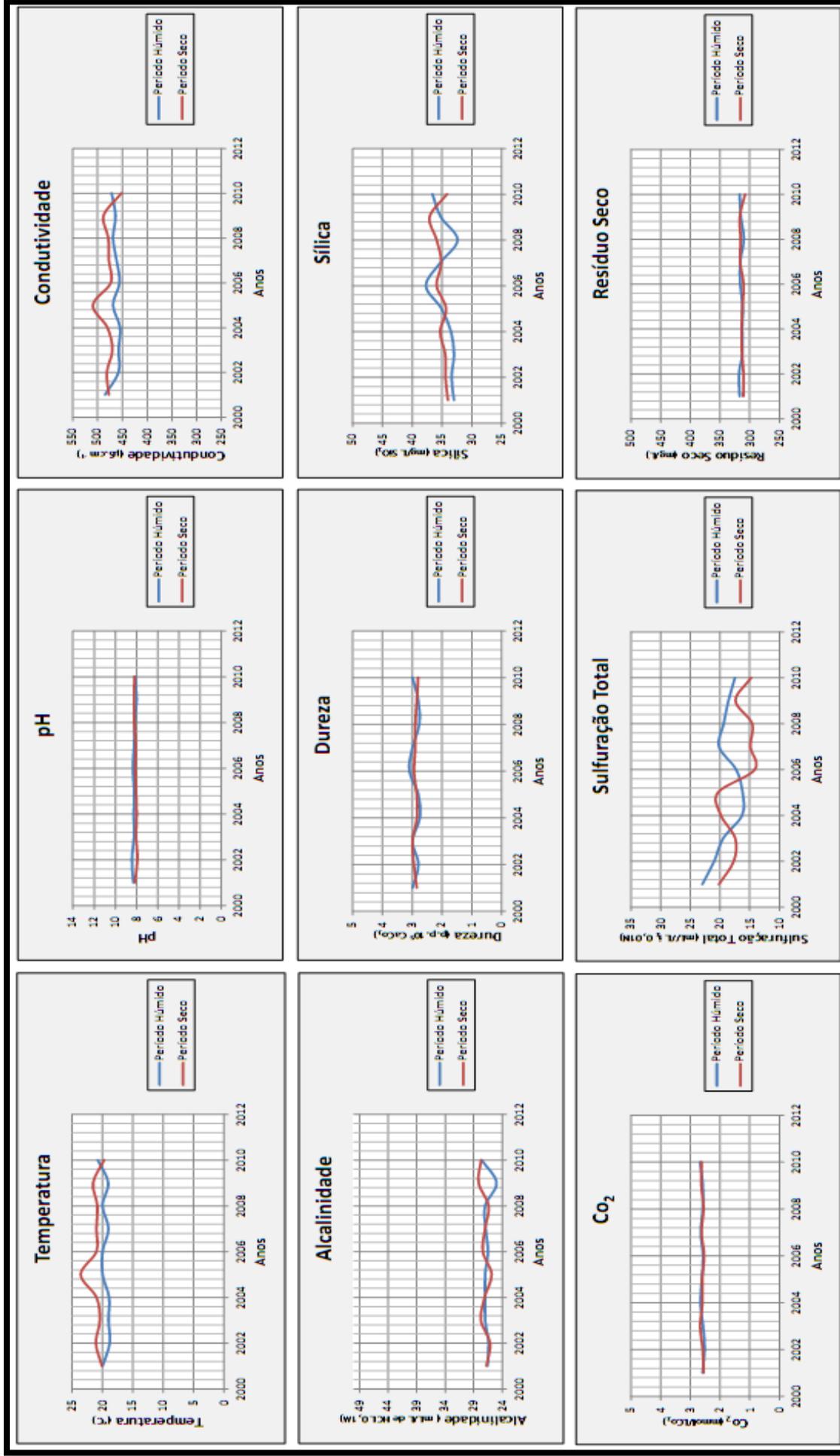


Figura 30 - Variação dos parâmetros Físico-químicos da água do furo ACP4, entre 2001 e 2010.

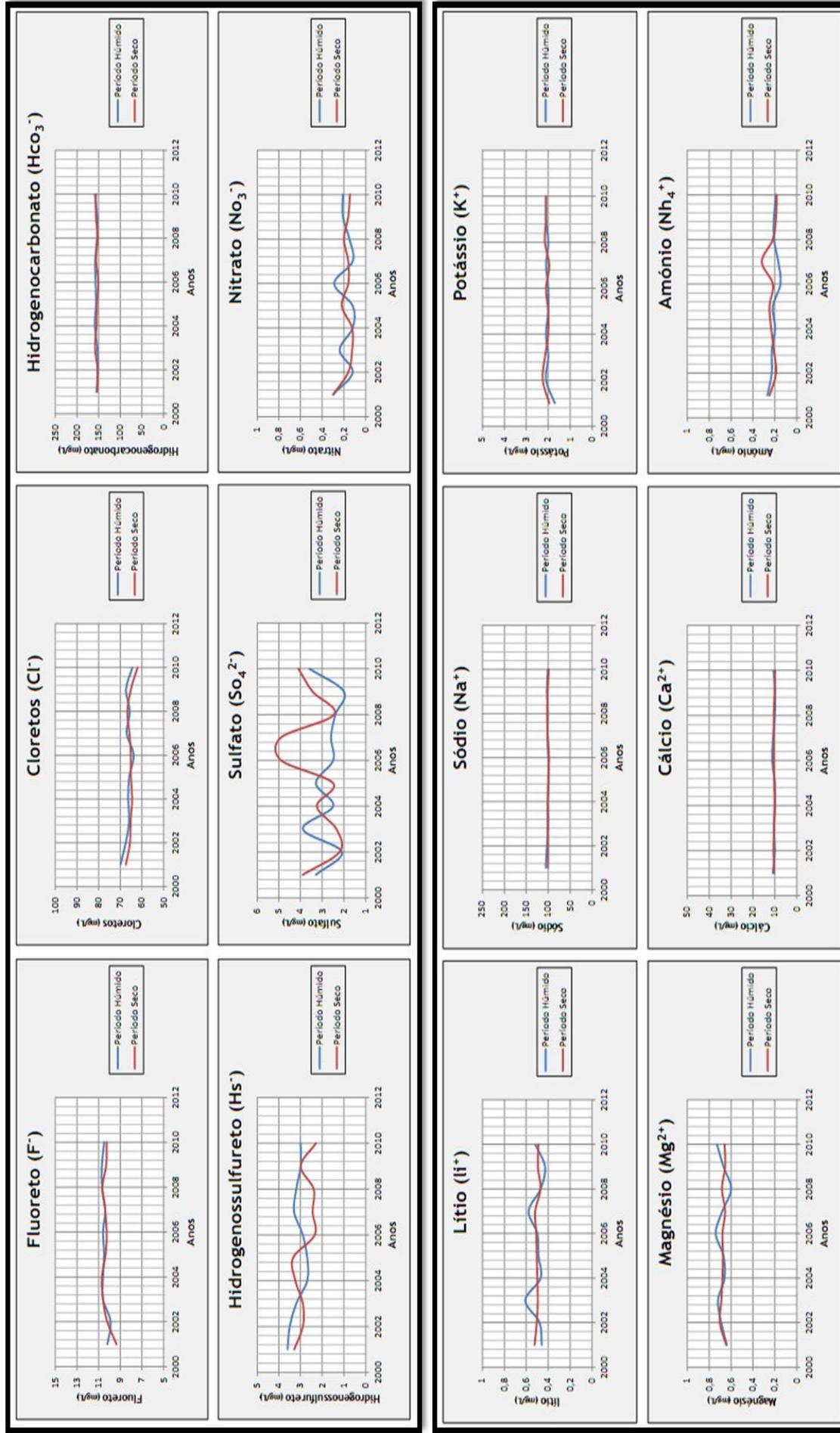


Figura 31 - Variações dos cátions e aniões presentes na água do furo ACP4, entre 2001 e 2010.

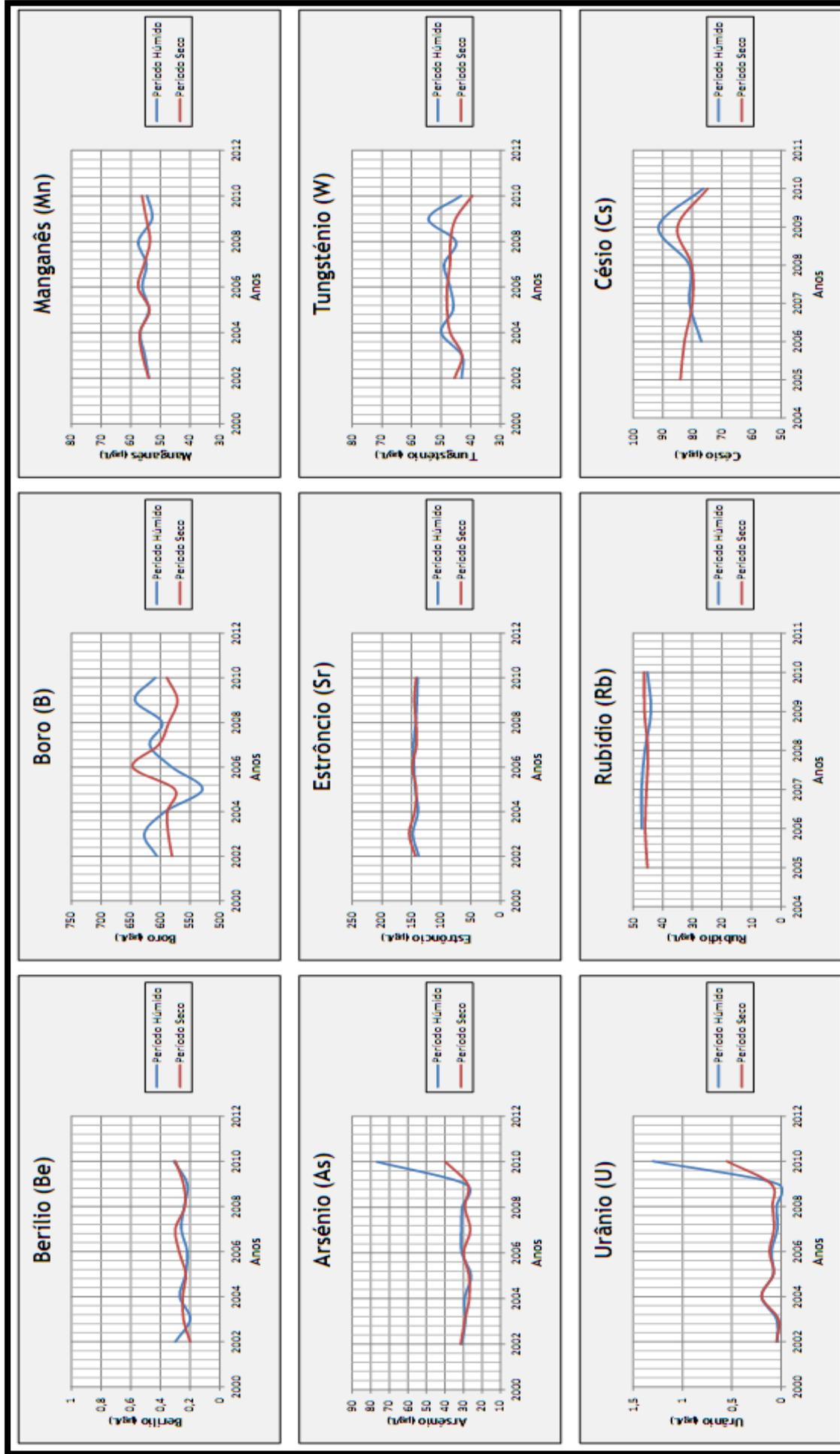


Figura 32 - Variações da componente vestigiária, presentes na água do furo ACP4, entre 2001 e 2010.

No caso dos aniões e catiões, é possível observar uma tendência semelhante à observada nos parâmetros físico-químicos (figura 31). No entanto, podem ser destacadas as similitudes no comportamento do hidrogenossulfureto e da sulfuração total. Apesar de, apresentarem-se teores mais elevados na maioria dos anos em estudo no período húmido, nos anos 2004 e 2005 verifica-se um aumento, no período seco, acompanhado da diminuição dos teores no período húmido nos mesmos anos, ocorrendo uma inversão dos valores máximos para ambos os elementos (Figura 31).

No caso do anião sulfato, apresenta um comportamento bastante variado ao longo dos anos em ambos os períodos, além de ocorrer um “pico”, durante o período seco em 2006 e 2007, o que indicia uma instabilidade deste elemento (Figura 31). Contudo, estas flutuações ocorrem para teores de sulfato variando entre 2,1 e 4,9 mg/L. (Figura 29)

Ao analisar alguns dos gráficos da componente vestigiária, verifica-se que apresentam um comportamento idêntico à generalidade dos elementos mencionados anteriormente (anexo 32). No entanto, merece referência a possível relação arsénio/urânio (figura 32), observando-se um “pico” dos valores nos períodos húmido e seco em 2010 para ambos os elementos provavelmente associado a uma maior dissolução e mobilidade destes. Também no caso dos elementos tungsténio/césio (Figura 32), a observação dos gráficos poderá indicar uma possível relação, mas se no caso do césio, a oscilação ocorrida em 2009 abrange ambos os períodos, no caso do tungsténio esta oscilação ocorre unicamente no período húmido, pois o tungsténio apresenta uma menor mobilidade do que césio.

Outra situação merecedora de referência é o elemento Boro (Figura 32). Neste caso, a redução dos teores no período húmido nos anos 2003 e 2005, não é “acompanhada” pelo período seco. No ano 2005, ocorre uma subida nos valores do Boro no período húmido, verificando-se também uma subida dos valores no período seco (Figura 32). Contudo, este elemento ocorre em teores vestigiais variando entre cerca de 520 e 650 µg/L (Figura 29).

Como já foi referido anteriormente, apesar das particularidades detectadas e das diferenças entre alguns parâmetros e elementos químicos, de um modo geral, é possível observar uma tendência de estabilidade ao longo dos 10 anos em análise. Estes resultados, coincidem com os estudos efectuados por Calado (2001), onde é mencionada a estabilidade dos elementos presentes na água da captação da Fadagosa de Nisa (furo ACP4), servindo de indicadores que apoiam os resultados obtidos para a vulnerabilidade da área de estudo

No entanto, convém ressaltar que as variações observadas nos gráficos poderão ter várias interpretações, não correspondendo necessariamente a infiltrações. Como exemplo, pode-se referir as alterações nos valores da pluviosidade (período seco nos anos 2004 e 2005), com a conseqüente variação dos níveis freáticos e, possível alteração das concentrações dos vários elementos em estudo. Também pode ser mencionado o período em que as termas da Fadagosa

de Nisa estiveram encerradas, devido à construção do novo complexo termal (2008 e 2009), não havendo extracção de água, o que poderá ter influenciado os teores de alguns elementos presentes na água.

A elaboração destes gráficos de variação teve por principal objectivo verificar a estabilidade dos teores em semestres distintos. Neste sentido é plausível considerar que estes resultados confirmam essa estabilidade, podendo-se considerar que os índices da vulnerabilidade tendem a manter-se constantes independentemente da estação do ano em causa.

6. Conclusão

Com a elaboração deste trabalho determinou-se a vulnerabilidade intrínseca das águas subterrâneas na envolvente da captação da Fadagosa de Nisa (furo ACP4) através do cálculo do índice DRASTIC. Pela observação da carta de vulnerabilidade obtida (Figura 25), facilmente se constata que, apesar de existirem zonas com vulnerabilidade alta e moderada na zona de estudo, na zona envolvente do furo das termas a vulnerabilidade é baixa. Tal situação deve-se ao um conjunto de características relacionadas com a geologia da região e profundidade dos níveis freáticos que podem dificultar a infiltração de possíveis elementos poluentes.

No entanto, apesar de uma possível contaminação na área não ser expectável, é importante referir que em relação a outras zonas apresentando uma vulnerabilidade intrínseca superior, há que considerar sempre um risco associado superior. Nesse sentido, torna-se imperativo a tomada de medidas preventivas em função dos resultados obtidos.

No cumprimento da legislação em vigor foi implementado um perímetro de segurança dividido em 3 zonas, visando a protecção da captação da Fadagosa de Nisa (furo ACP4) (Diário da República, 1990a; 1990b).

As características geológicas da região, onde a circulação da água é predominantemente fissural, originam situações em que pontos de água próximos da captação da Fadagosa de Nisa (furo ACP4) apresentam características distintas (p. ex. poços de S. Gens) (Figura 11), desta forma, é possível que existam outros pontos apresentando características similares às da captação das termas (ACP4). Neste sentido, seria pertinente a criação de uma rede de monitorização de modo a controlar os pontos de água existentes, fora do perímetro de protecção, da captação das termas, como mecanismo de prevenção a possíveis contaminações externas ao perímetro de segurança.

O estudo temporal realizado para diversos parâmetros físico-químicos da captação da Fadagosa de Nisa (furo ACP4), sugere que no período entre 2001 e 2010, não foram detectadas significativas alterações no comportamento dos elementos em análise. Contudo, foram detectadas algumas particularidades que poderão originar dúvidas a nível da mobilidade e infiltração para níveis subterrâneos, de possíveis elementos contaminantes. Assim sendo, seria

pertinente efectuar um estudo mais detalhado, de modo a compreender o seu comportamento e possíveis interacções com outros elementos, bem como a influência directa e indirecta dos factores externos, como seja a variação da escorrência superficial e infiltração da água ao longo do tempo, com intuito de avaliar potenciais riscos de contaminação.

Bibliografia

- A. Cavaco LDA. Sondagens e fundações (1983). Estudo hidrogeológico das nascentes minero-medicinais da Fadagosa de Nisa (relatório final); obra nº 1683
- Al-Zabet, T. (2002). Evaluation of aquifer vulnerability to contamination potential using the DRASTIC method; *Env. Geol.* 43:203 - 208, doi 10.1007/s00254-002-0645-5.
- Aller, L., Bennett, T., Lehr, JH, Petty, R.H., Hackett, G. (1987). DRASTIC: a standardised system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. USEPA Report 600/2-87/035, Robert S. Kerr; Environmental Research Laboratory; Ada, Oklahoma.
- Águas termais (2002). http://www.aguas.ics.ul.pt/portalegre_fnisa.html. Consultado a 15/09/2011.
- Calado, C.M.A. (2001). A Ocorrência de Água Sulfúrea Alcalina no Maciço Hespérico: Quadro Hidrogeológico e Quimiogénese. Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Geologia, Especialidade de Hidrologia (Não publicado). Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- C.M.N. - Câmara Municipal de Nisa (2010a). Revisão do Plano Director Municipal; Relatório II - Caracterização do território Municipal; I sector biofísico; Abril 2010.
- C.M.N. - Câmara Municipal de Nisa (2010b). Revisão do Plano Director Municipal; Relatório II - Caracterização do território Municipal; III Sector socioeconómico; Setembro 2010.
- Catrapona, A., Lourenço, C., Midões, C., Oliveira, D., Carvalho, J., Falé, P. (2009). Contributo para a Revisão do PDM de Nisa - Geologia e Recursos Geológicos; INETI; Janeiro 2009.
- Civita, M., Maio, M.D. (2004). Assessing and Mapping Groundwater Vulnerability to Contamination: Italian "Combined" Approach; *Geofísica internacional*, vol. 43, num.4:513-532.
- Diário da Republica (1990a). Decreto-Lei nº 86/90, de 16-03-90. Regulamento das Águas Minerais.
- Diário da Republica (1990b). Decreto-Lei nº 90/90, de 16-03-90. Regime Geral de Revelação e Aproveitamento dos Recursos Geológicos.
- Diário da Republica (1992a). D.R. III Série, nº17 de 21-01-92. Extracto do contracto de concessão das Termas da Fadagosa de Nisa.
- Diário da Republica (1992b). Portaria 948/92 de 29-09-1992. Define os perímetros de segurança para a captação das Termas da Fadagosa de Nisa
- Figueiredo, J.F. (1956). Monografia de Nisa. Imprensa Nacional Casa da Moeda; C. M. de Nisa.

LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia (2010). Recursos Geológicos e Hidrológicos do município de Nisa - relatório técnico. Acordo de Cooperação entre a Câmara Municipal de Nisa e Laboratório Nacional de Energia e Geologia. Relatório Final da Fase B.

Lifecooler (2009). <http://estilosdevida.rtp.pt/rtp/termas-da-fadagosa-de-nisa-%E2%80%93-nisa-artigo-8921.htm>, Consultado em 15/09/2011.

Liggett, J.E., Allen, D.M. (2010). Evaluating the sensitivity of DRASTIC using the different data sources; interpretations and mapping approaches. Environ Earth sci, doi: 10.1007/s 12665-010-0642-z.

Lobo-Ferreira, J.P.C. (1998). Vulnerabilidade à poluição de águas subterrâneas: fundamentos e conceitos para uma melhor gestão e protecção dos aquíferos de Portugal. 4º Congresso da Água, Lisboa.

Matias, J.M.G. (2010). Vulnerabilidade natural e risco de contaminação do subsistema aquífero da Mata do Urso. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Geociências, especialização em Ambiente e ordenamento (Não publicado); Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Mendes, E. (2006). Perímetros de Protecção de Captações de Água Subterrânea para Consumo Humano em Zonas de Montanha: Caso de Estudo da Cidade da Covilhã. Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Geotecnia Ambiental (Não publicado). Universidade da Beira Interior.

Moreira, J.D.D. (1985). Relatório dos testes de prospecção geoelectrica efectuados na área da nascente minero-medicinal da Fadagosa de Nisa. Direcção Geral de Geologia e Minas.

Oliveira, M.M., Lobo-Ferreira, J.P.C. (1998). Cartografia automática da vulnerabilidade de aquíferos com base na aplicação do método DRASTIC. 4º Congresso da Água, Lisboa.

Panagopoulos, G.P., Antonakos, A.K., Lambrakis, N.J. (2006). Optimization of the DRASTIC method for groundwater vulnerability assessment via the use of simple statistical methods and GIS. Hydrogeology J. 14: 894-911.

Paralta, E.A., Oliveira, M.M., Batista, S.B., Francés, A.P., Ribeiro, L.F., Cerejeira, M.J. (2001). A aplicação de SIG na avaliação da vulnerabilidade aquífera e cartografia da contaminação agrícola por pesticidas e nitratos na região do Ribatejo. Seminário sobre a Hidroinformática em Portugal; LNEG, Lisboa.

Paralta, E.A., Francés, A.P., Ribeiro, L.F. (2005). Avaliação da vulnerabilidade do sistema aquífero dos Grabos de Beja e análise crítica das redes de monitorização no contexto da directiva da água. VII Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Palop`s (silusba). Évora.

Rahman, A. (2008). A GIS based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligarh, India. *Appl. Geogr.* 28:32-53, doi: 10.1016/j.apgeog.2007.07.008.

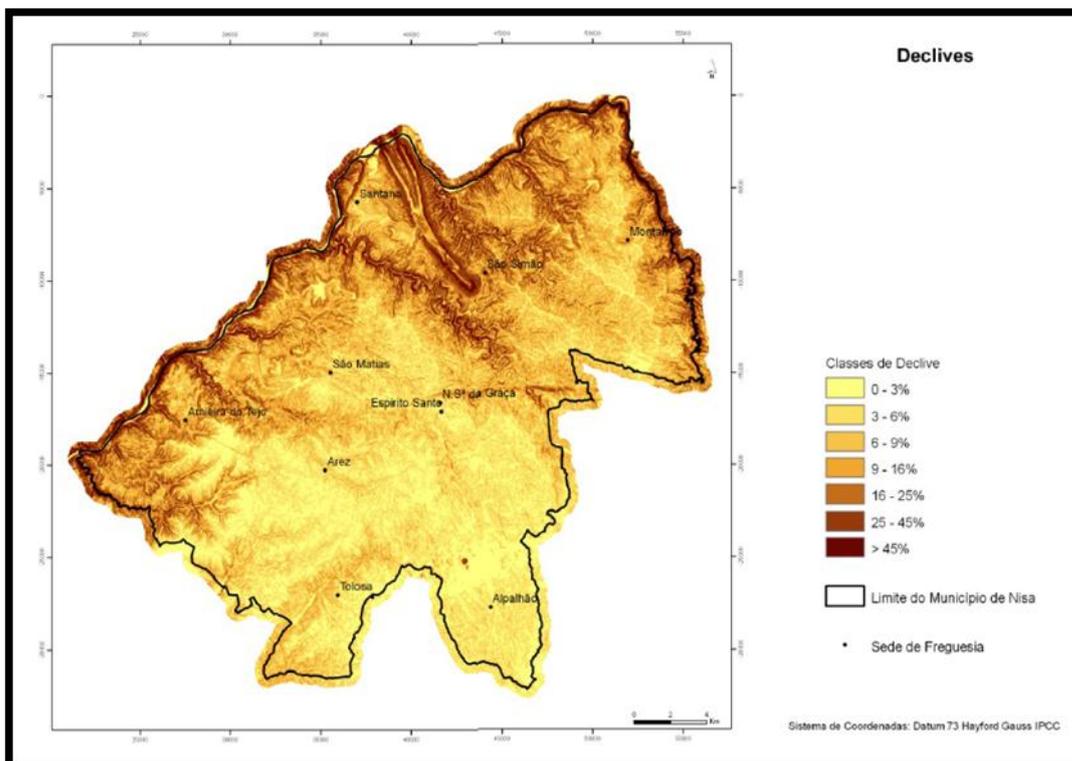
Samake, M., Tang, Z., HLAING, W., NDOH, M.I., Kasereka, K., Balogun, W.O. (2011). Groundwater Vulnerability Assessment in Shallow Aquifer in Linfen Basin, Shanxi Province, China Using DRASTIC Model. *Journal of Sustainable Development*; Vol. 4, No. 1.

Sinan, M., Razack, M. (2008). An extension to the DRASTIC model to assess groundwater vulnerability to pollution: application to the haouz aquifer of Marrakech (Marocco). *Environ. Geol.* 57: 349-363, doi 10.1007/s00254-008-1304-2.

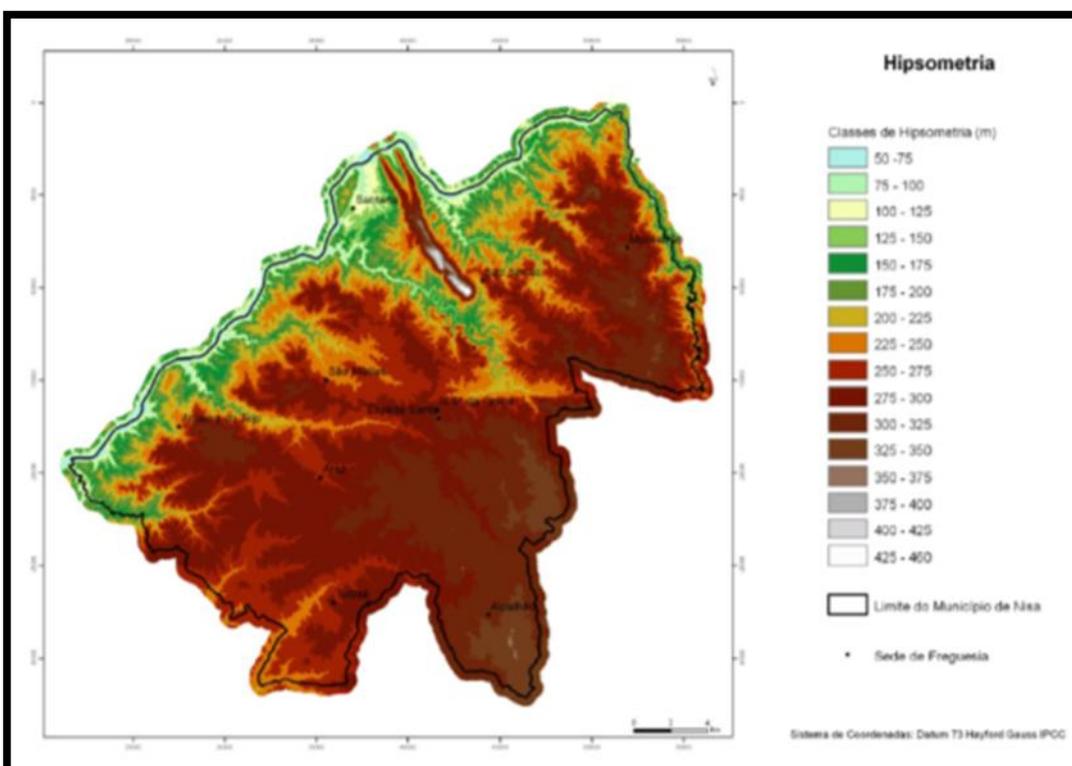
Sener, E., Sener, S., Davraz, A. (2009). Assessment of aquifer vulnerability based on GIS and DRASTIC methods: a case study of the Senirkent-Uluborlu Basin (Isparta, Turkey). *Hydrogeology journal* 17: 2023-2035, doi:10.1007/s10040-009-0497-0.

Wang, Y., Merkel, B.J., Li, Y., Ye, H., Fu, S., Ihm, D. (2007). Vulnerability of groundwater in Quaternary aquifers to organic contaminants: a case study in Wuhan City, China. *Env. Geol.* 53: 479 - 484, doi 10.1007/s00254-007-0669-y.

Anexos

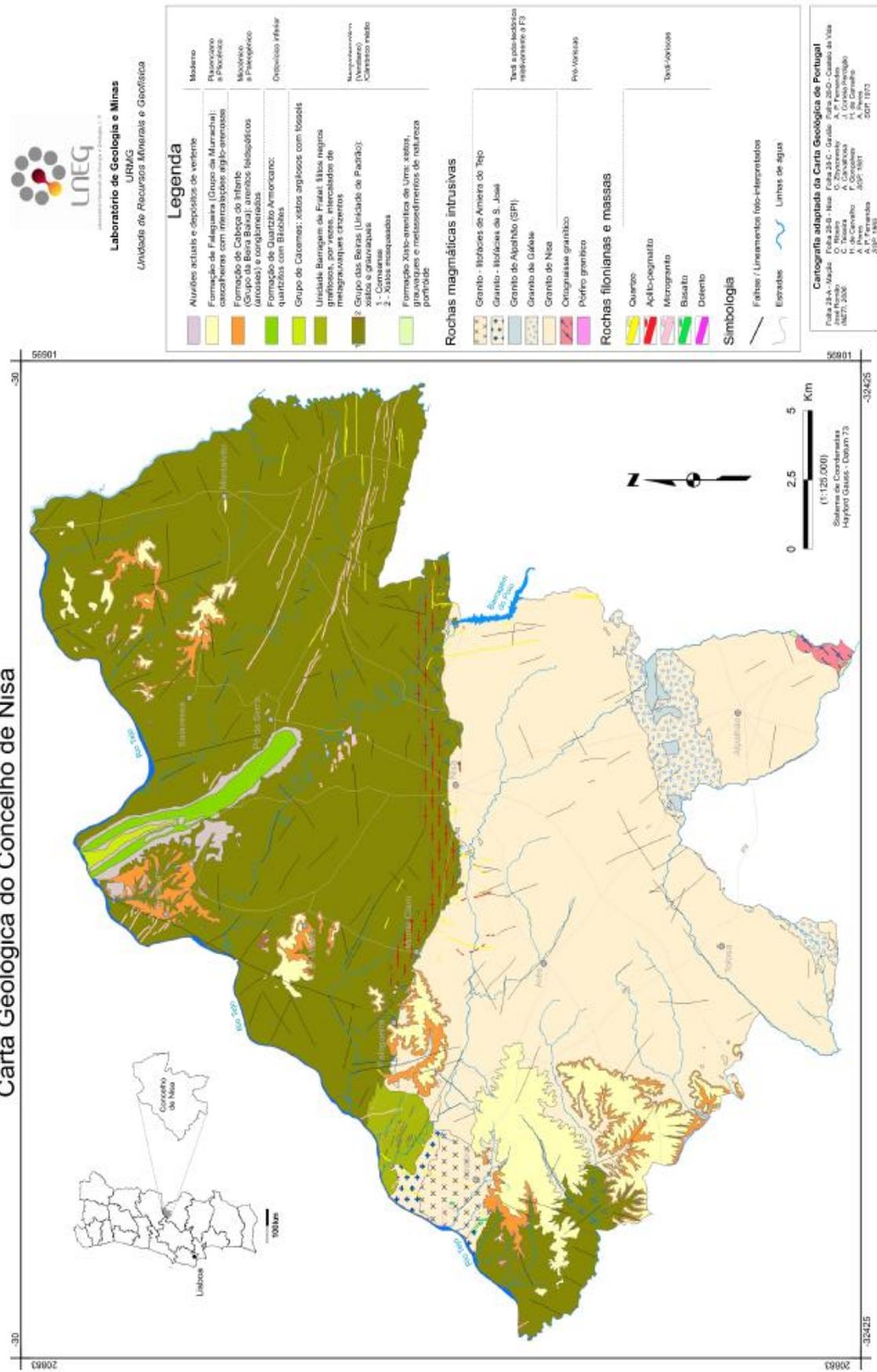


Anexo 1a - Carta hipsométrica do Concelho de Nisa. (fonte: C.M.N., 2010a)

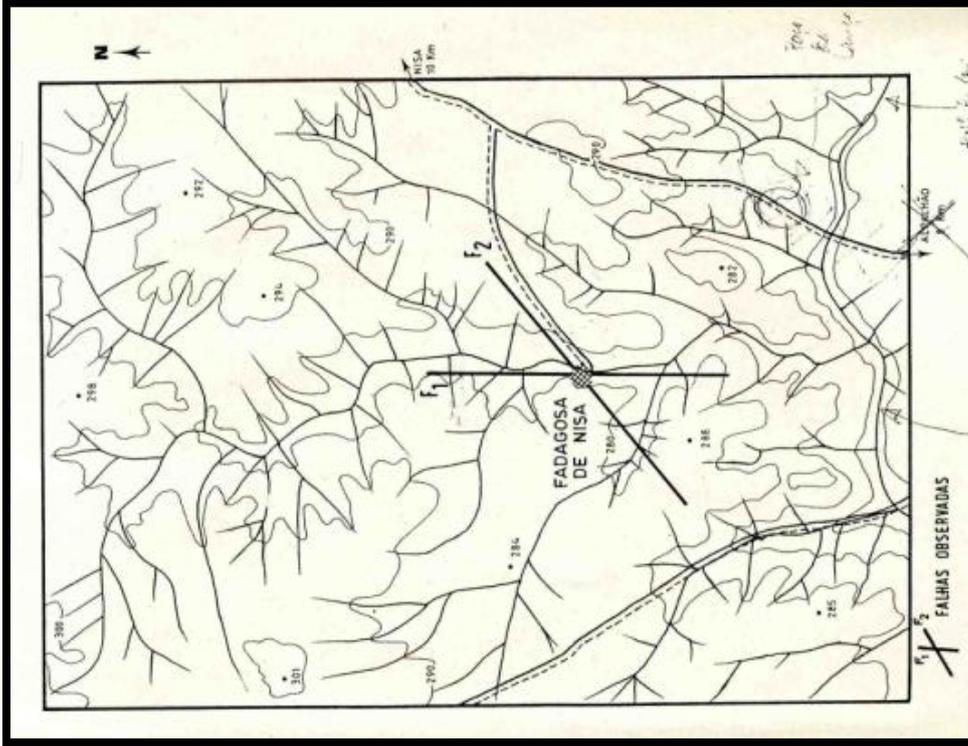


Anexo 1b - Carta de declives do concelho de Nisa (fonte: C.M.N., 2010a).

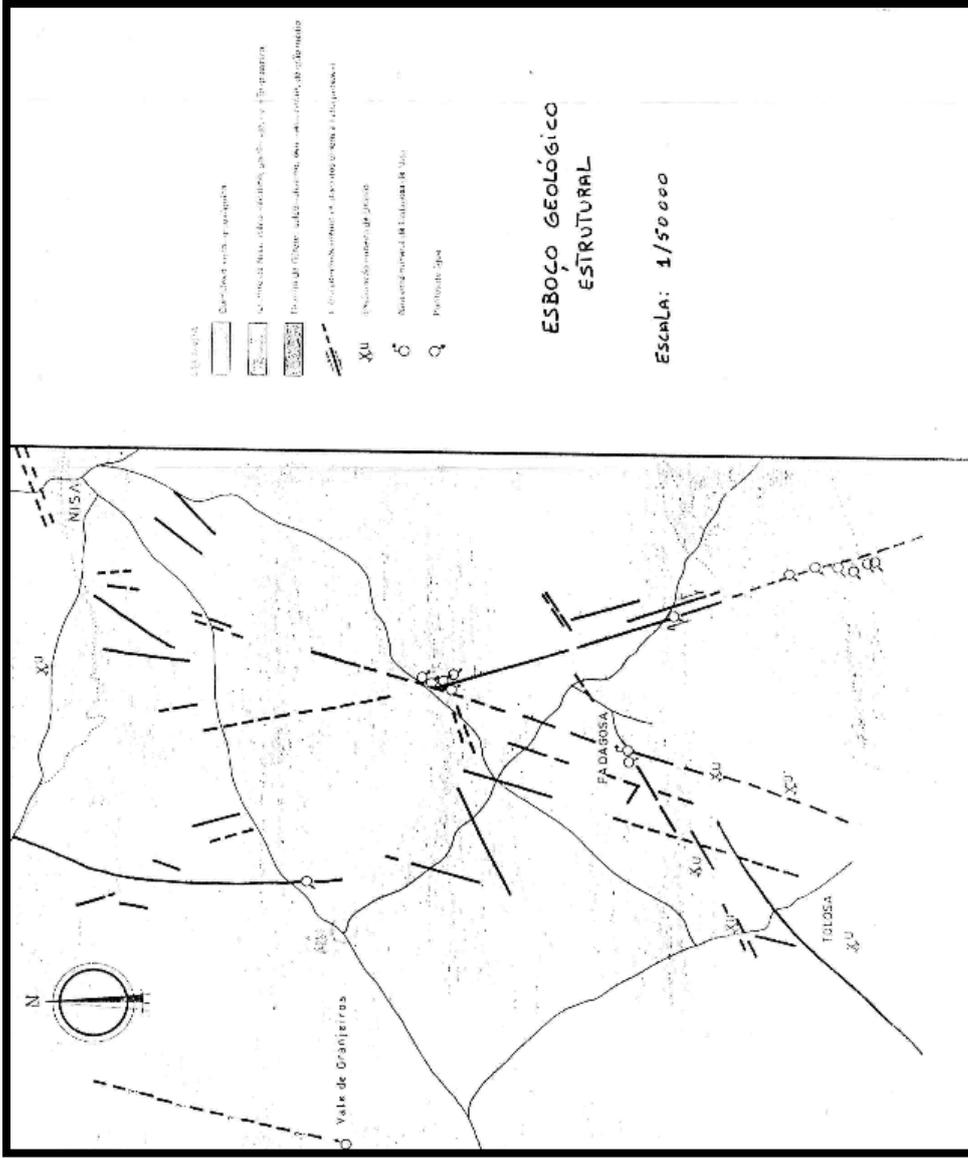
Carta Geológica do Concelho de Nisa



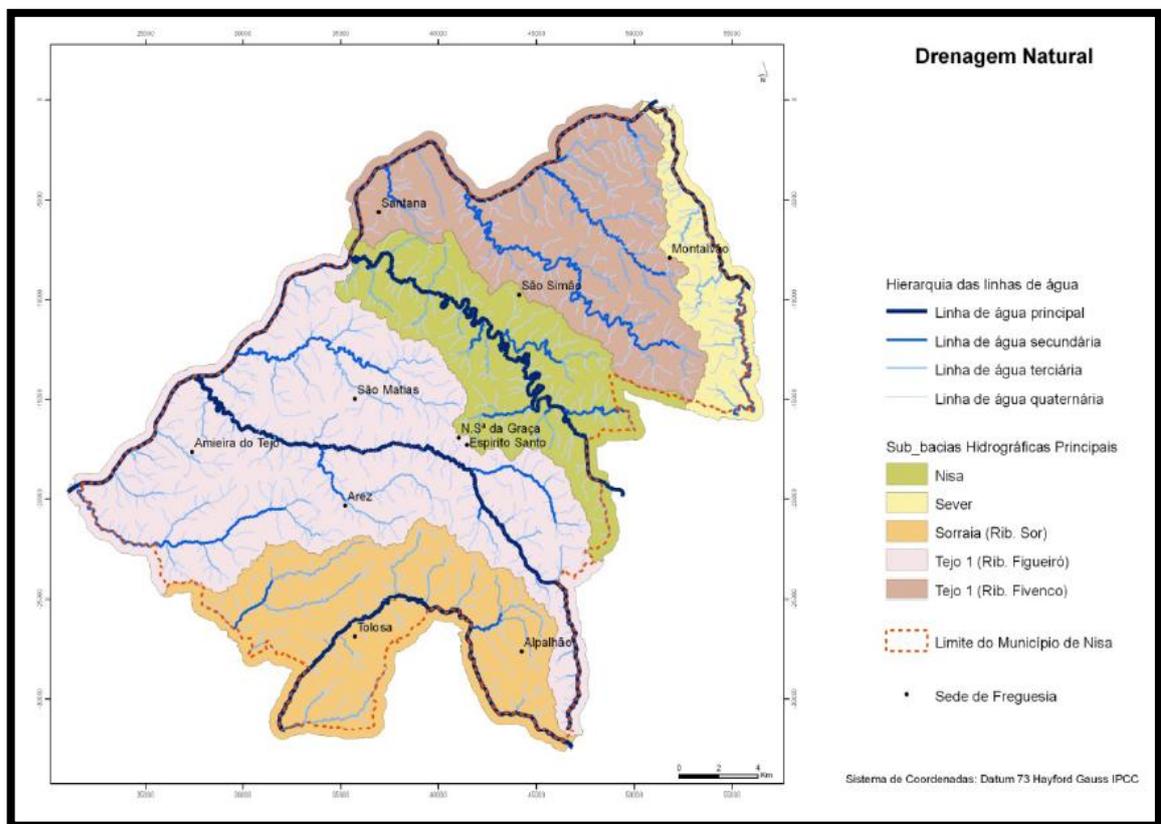
Anexo 2 - Carta geológica do Concelho de Nisa. (fonte: LNEG, 2010).



Anexo 3a - Falhas predominantes e localização das termas da Fadagosa de Nisa (fonte: Moreira, 1985).



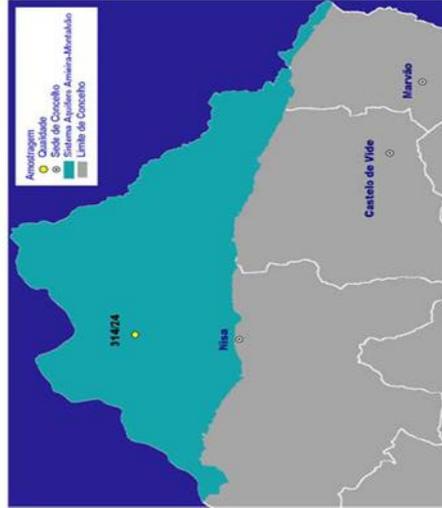
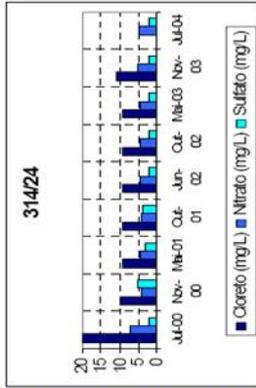
Anexo 3b - Esboço geológico da área de estudo (fonte: Moreira, 1985).



Anexo 4 - Carta de drenagem natural do Concelho de Nisa (fonte: C.M.N., 2010a).

Sector Pouco Produtivo Amieira-Montalvão

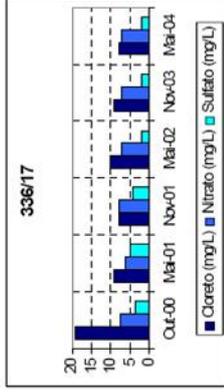
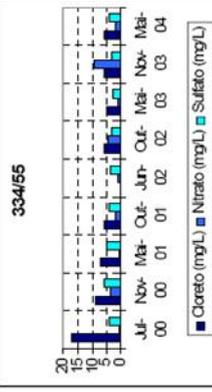
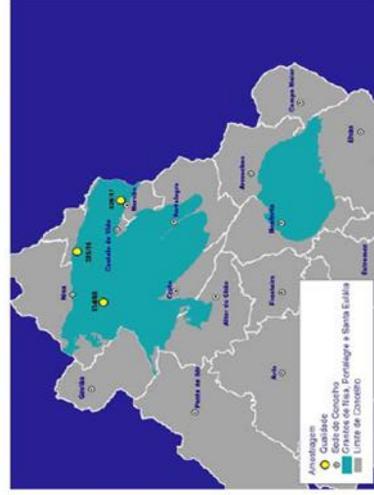
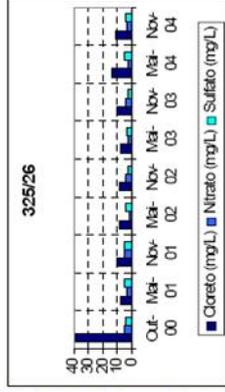
ÁREA TOTAL (km ²)	358
ÁREA DE RECARGA (km ²)	358
PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL (mm)	659
RECARGA MÉDIA ANUAL (mm)	165
RECURSO RENOVÁVEL ANUAL (mm/ano)	12.5
LITOLOGIA	XISTOS, QUARTZITOS E CORNEANAS DE CONTACTO
FÁCIES	BICARBONATADA SÓDICO-POTÁSSICA C.M. NISA; C.M. CASTELO DE VIDE;
UTILIZADORES	PARTICULARES
PIEZOMETRIA (N.º PONTOS)	-
QUALIDADE (N.º PONTOS)	1



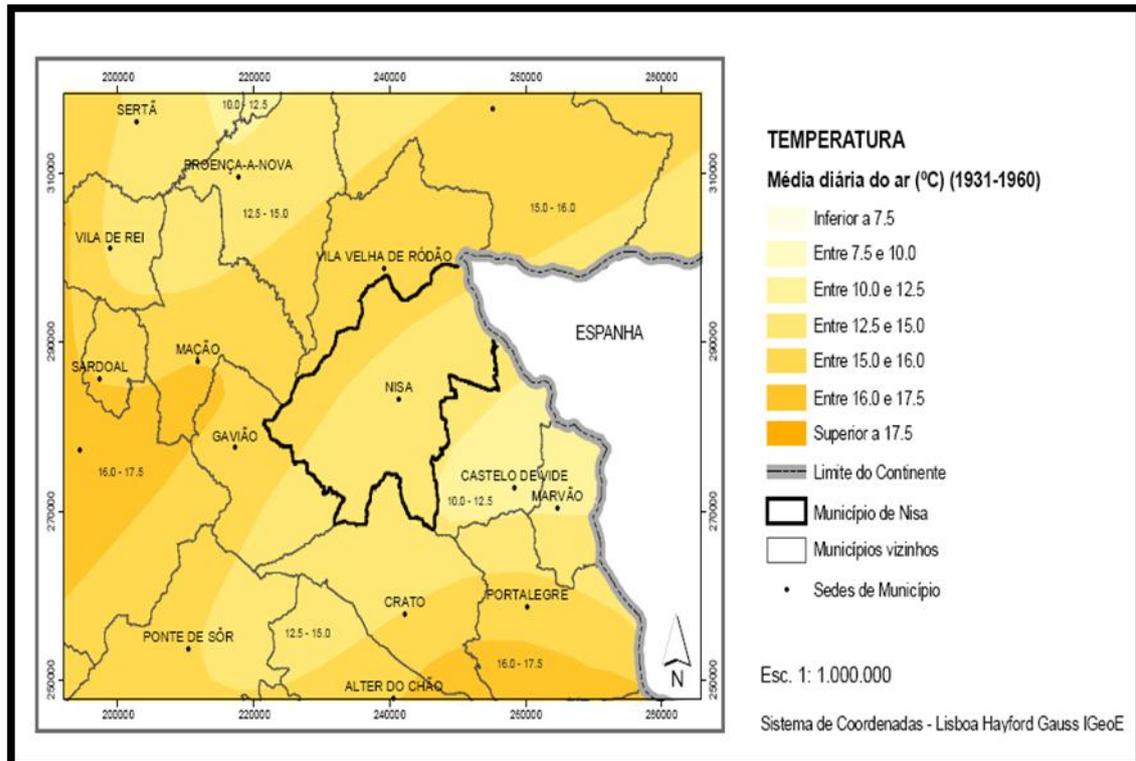
Anexo 5a - Sector aquífero pouco produtivo Amieira - Montalvão (fonte: C. M. N., 2010a).

Sector Pouco Produtivo dos Granitos de Nisa, Portalegre e Santa Eulália

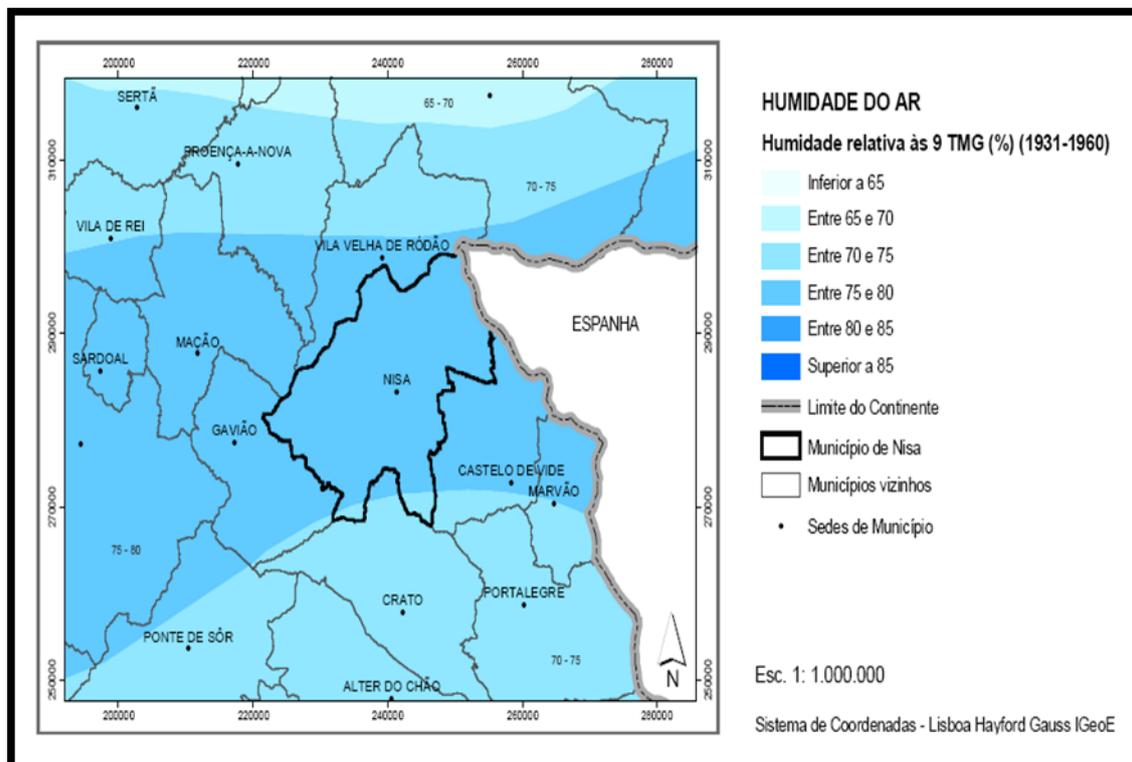
ÁREA TOTAL (km ²)	1457
ÁREA DE RECARGA (km ²)	1457
PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL (mm)	724
RECARGA MÉDIA ANUAL (mm)	73
RECURSO RENOVÁVEL ANUAL (mm/ano)	105.6
LITOLOGIA	GRANITOS
FÁCIES	BICARBONATADA SÓDICO-POTÁSSICA C.M. NISA; C.M. CASTELO DE VIDE; C.M. MARVÃO; C.M. PORTALEGRE; C.M.; CRATO; C.M. MONFORTE; PARTICULARES
UTILIZADORES	REDE DE AMOSTRAGEM CDR ALENTEJO
PIEZOMETRIA (N.º PONTOS)	-
QUALIDADE (N.º PONTOS)	3



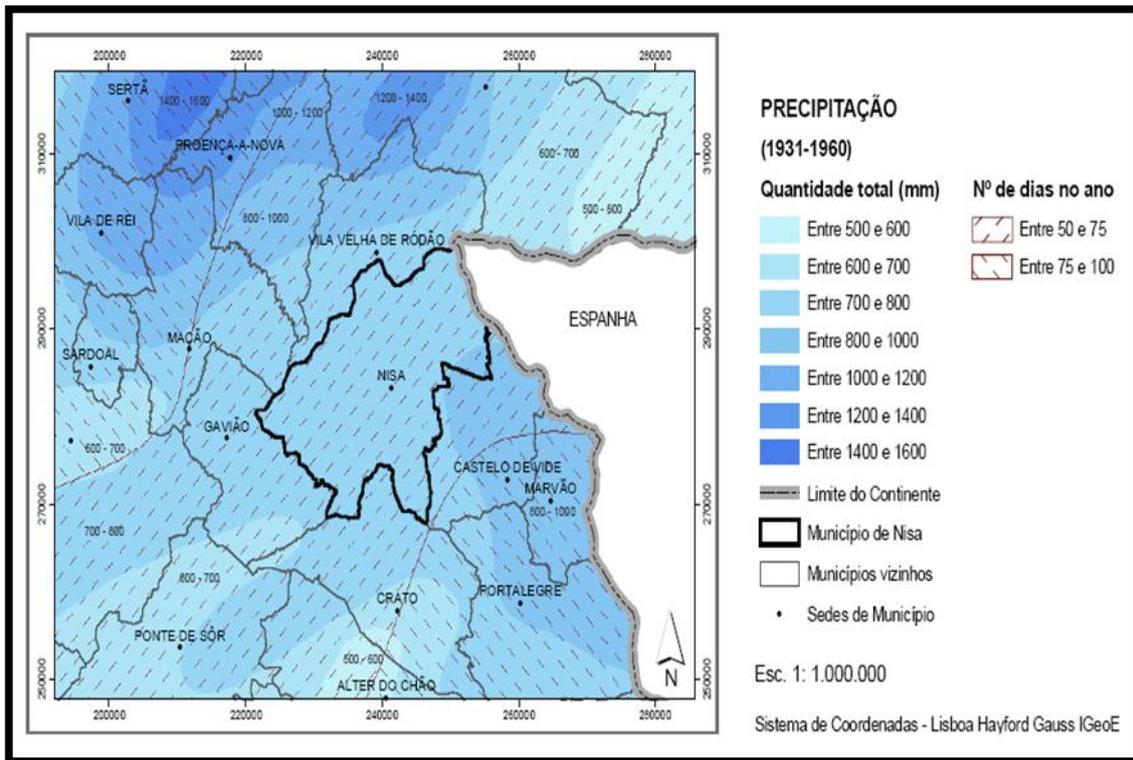
Anexo 5b - Sector aquífero pouco produtivo dos granitos de Nisa, Portalegre e Santa Eulália (fonte: C. M. N., 2010a).



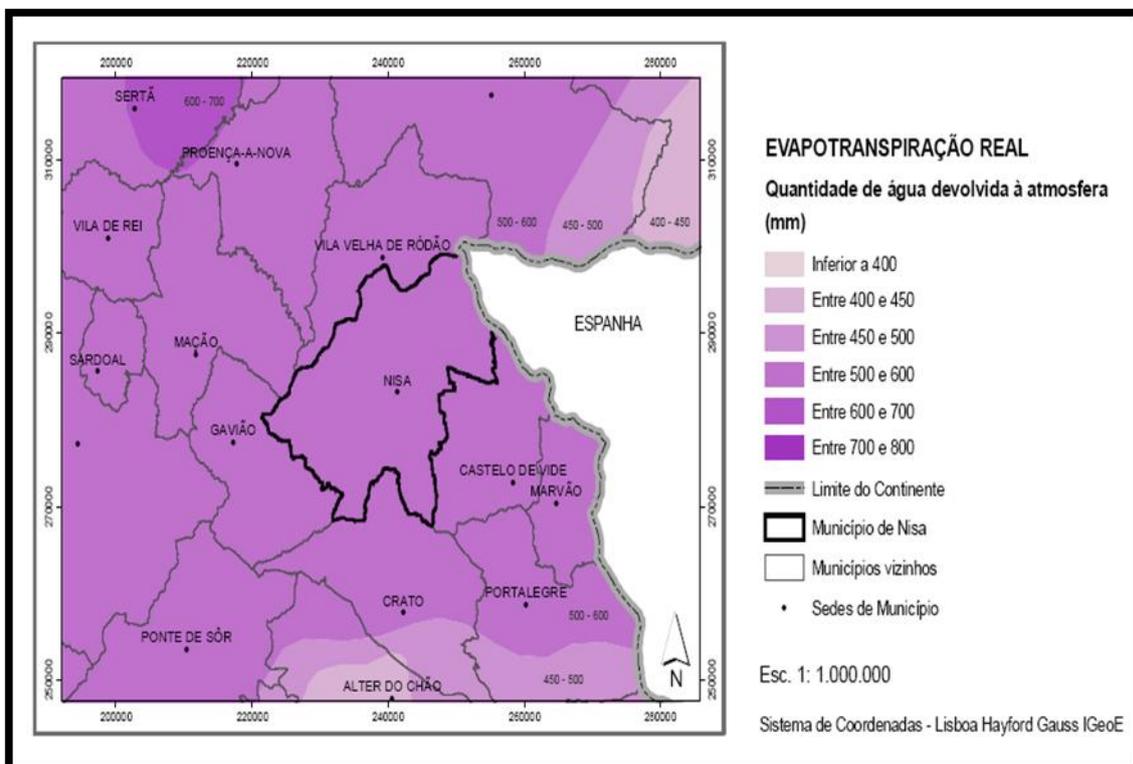
Anexo 6 - Temperatura (média diária do ar) (fonte: C.M.N., 2010a).



Anexo 7 - Humidade relativa do ar (9 horas TMG) (fonte: C.M.N., 2010a).

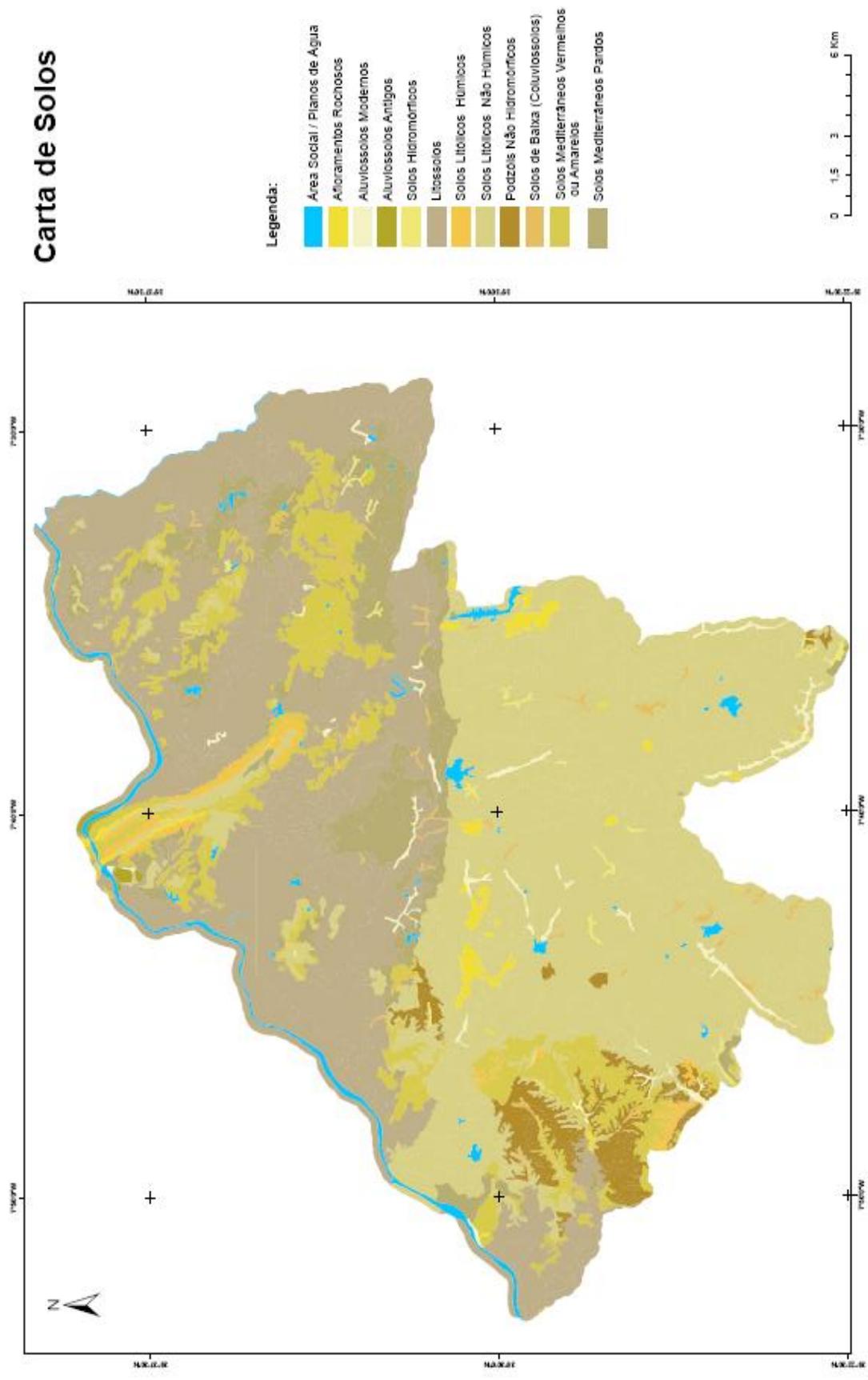


Anexo 8 - Valores da precipitação (mm) e dias de precipitação (Fonte: C.M.N., 2010a).

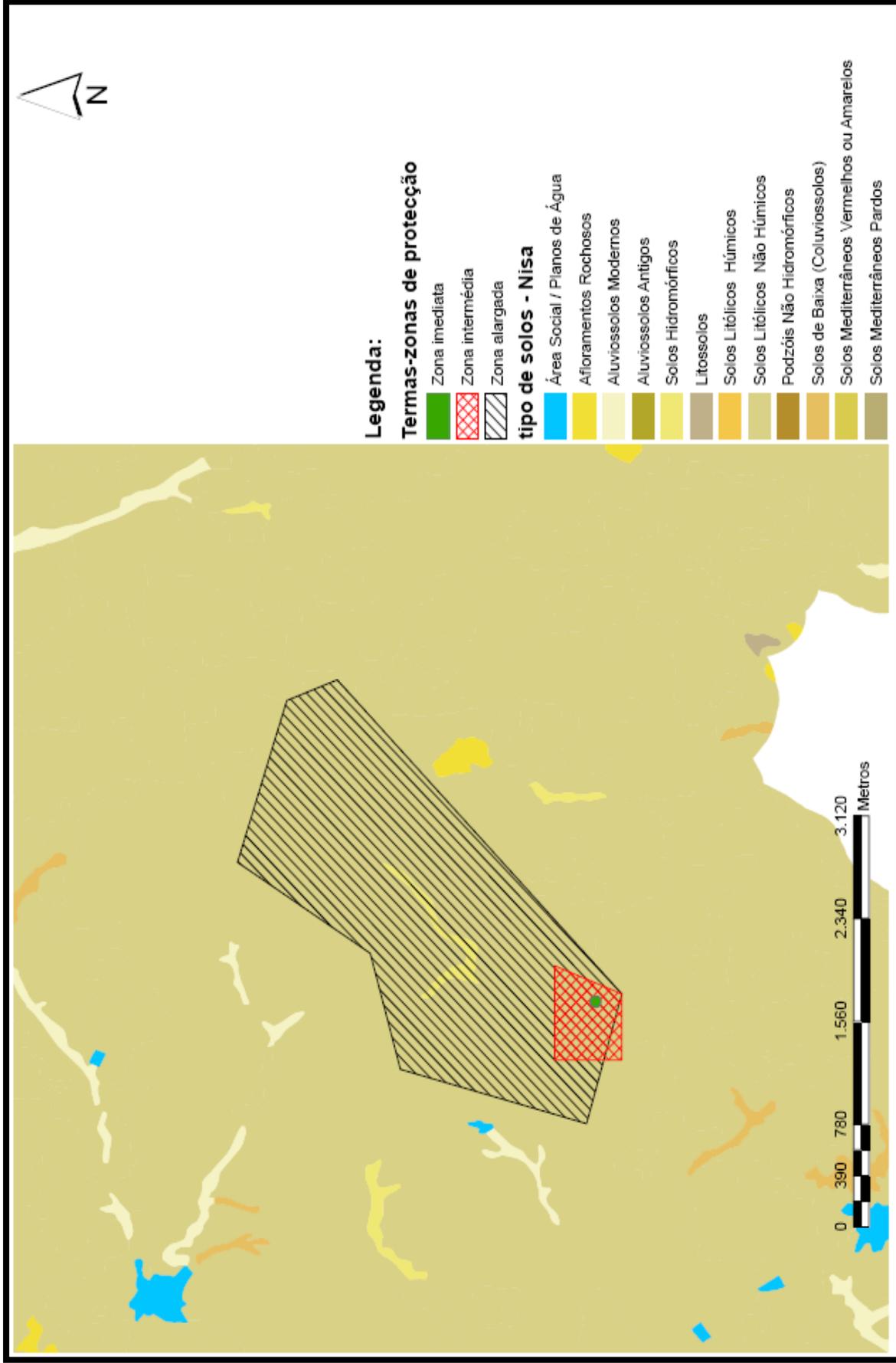


Anexo 9 - Valores da evapotranspiração (fonte: C.M.N., 2010a).

Carta de Solos



Anexo 10 - Carta de solos do Concelho de Nisa (fonte: C.M. N., 2010a).



Anexo 11 - unidades pedológicas na zona de protecção das termas (fonte: C.M.N., 2010a).