

A água como factor de gestão,
planeamento e desenvolvimento integrado
Sistema Aquífero Estremoz - Cano (A4)
Zona dos Mármore

Carlos Alberto Coelho Teles Cupeto

Esta Tese não inclui as críticas e sugestões feitas pelo Júri

Setembro de 2003

3^o 7^o 117.102

**A água como factor de gestão, planeamento
e desenvolvimento integrado
Sistema Aquífero Estremoz – Cano (A4)
Zona dos Mármore**

Carlos Alberto Coelho Teles Cupeto

**Orientador: Professor Catedrático, Manuel Oliveira da Silva
(Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa)**



169018

Esta Tese não inclui as críticas e
sugestões feitas pelo Júri.

Setembro de 2003

ÍNDICE

PREAMBULO	v
RESUMO	vii
SYNOPSIS	viii
I. INTRODUÇÃO	1
II. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA SITUAÇÃO DE REFERÊNCIA	5
1. <i>Introdução</i>	5
2. <i>Geologia e tectónica</i>	7
2.1. Litoestratigrafia	8
3. <i>Geomorfologia</i>	11
4. <i>Climatologia</i>	13
4.1. Precipitação	14
4.2. Cálculo da precipitação média no Sistema Aquífero	16
4.3. Temperatura	18
4.4. Evapotranspiração	19
4.5. Infiltração	20
4.6. Curvas de esgotamento de nascentes	21
4.7. Recursos hídricos subterrâneos renováveis	25
4.8. Classificação climática	25
5. <i>Solo</i>	25
5.1. Unidades Pedológicas	28
5.2. Caracterização geral dos solos	29
5.2.1. Solos Incipientes	29
5.2.2. Solos Hidromórficos	30
5.2.3. Solos Calcários	32
5.2.4. Solos Argiluvitados Pouco Insaturados	33
5.2.5. Litossolos	35
5.2.6. Afloramentos Rochosos	36
5.3. Capacidade de Uso dos Solos	36
5.4. Uso dos Solos	37
5.5. Flora e Vegetação	39
5.6. Fauna	42
6. <i>A vantagem da bioclimatologia</i>	44
III. HIDROGEOLOGIA	47
1. <i>Introdução</i>	47
1.1. Sistemas Aquíferos de Portugal Continental	49
1.2. Movimento da água na rocha	50
1.3. Caracterização Hidrogeológica Sumária	53
1.4. Pontos de água	59
1.5. Instrumentação	61
1.6. Caracterização da informação e inventário de pontos de água	62
1.7. Densidade de furos	65
2. <i>Hidrodinâmica</i>	67

2.1.Introdução	67
2.2.Piezometria	69
2.3.Produtividades	74
2.3.1.Nascentes	77
2.4.Parâmetros Hidrodinâmicos	81
2.4.1.Ensaio de Bombeamento	82
3. Hidrogeoquímica	92
3.1.Introdução	92
3.2.Monitorização hidrogeoquímica	93
3.3.Caracterização físico-química da água	95
3.3.1.Temperatura	95
3.3.2.Conductividade	95
3.3.3.pH	96
3.3.4.Iões maiores	96
3.3.4.1.Diagramas de Stiff	97
3.3.4.2.Diagramas de Piper	100
3.4.Qualidade da água para consumo humano	102
IV. O CICLO DA ÁGUA NO A4	107
1. Usos da água	107
2. Utilização da água no A4	110
3. A água na Indústria do Mármore na região de Vila Viçosa	116
3.1. Origens da água utilizada	116
3.2. Sistemas de circulação da água	120
3.3. Outras utilizações	121
3.4. Água e a Actividade Mineira – impacte no ciclo da água (impacte ambiental)	122
3.4.1. Caracterização sumária da água na actividade extractiva de mármore	125
3.4.2. Outras utilizações da água pela actividade mineira	130
3.4.2.1. Oficinas e serviços gerais	131
3.4.2.2. Pré – transformação do mármore – monolâminas	131
3.4.2.3. Aterros , escombrelas e “stocks” de blocos	132
3.4.2.4. Água associada à exploração	135
3.5. Usos alternativos	135
4. Descargas do Complexo Vulcano-Sedimentar de Estremoz, pela actividade mineira	138
5. Balanço Hídrico no A4	140
6. Caracterização regional de fontes poluentes	143
6.1.Indústria Extractiva	147
6.2.Uso agrícola	149
V. ANÁLISE DO CICLO DA VIDA DA ÁGUA NO SISTEMA AQUÍFERO ESTREMOZ-CANO	151
1. Introdução	151
1.1.A análise do ciclo de vida da água	152
1.2.A água como ecoproducto	154
1.3.Descrição metodológica da ACV	159

1.3.1. Definição de objectivos	160
1.3.2. Análise de Inventário	162
1.3.3. Avaliação de impactes	164
1.4. Ciclo de Vida do Produto	165
1.4.1. Ecossistema hídrico <i>versus</i> utilização da água	166
1.5. Limitações da ACV	167
1.6. Função e unidade funcional ACV	168
1.6.1. Limites do sistema	169
1.6.2. Definição de <i>inputs</i> e <i>outputs</i>	169
2. Do modelo à aplicação no A4	170
VI. A ÁGUA E A ROCHA NO PLANEAMENTO - (HIDRO)CARSOLOGIA APLICADA	175
1. Introdução	175
2. Riscos, segurança, ambiente e geologia	179
2.1. Introdução	179
2.2. Segurança na ZM	180
2.3. Riscos Geológicos	188
2.3.1. Principais ocorrências no A4	191
2.3.1.1. Estabilidade e Rotura de Taludes	191
2.3.1.2. Elevação da Coluna de Água em Descontinuidades	197
2.3.1.3. Abatimentos em dolinas e outras estruturas cársticas	198
VII. PLANO DIRECTOR DA ÁGUA	200
1. Enquadramento	200
2. Escassez de água e outros aspectos ambientais no A4	203
2.1. A importância do A4 no contexto regional	205
2.2. A importância do risco no A4	208
3. Recolha e avaliação das informações	211
3.1. Planeamento e formulação do plano estratégico	211
3.1.1. Vulnerabilidade e risco de contaminação no A4 – factor crítico ao planeamento e formulação do PDA – A4	211
3.1.1.1. Casos de estudo no A4	212
3.1.2. Procedimento de análise da vulnerabilidade no A4 como apoio ao PDA	215
3.2. Implementação do PDA	217
3.2.1. Perímetros de protecção, uma ferramenta de apoio à implementação do PDA – A4	218
3.2.1.1. Captações das Romeiras – principal origem de água no Concelho de Sousel	222
3.2.1.2. Captações da Fonte do Freixo – a mais importante origem de água do Concelho de Borba	225
3.3. Avaliação e Retroalimentação	229
4. Princípios e recomendações para o PDA	230
5. Bases para a formulação do PDA-A4	236
6. Configuração do Plano Director da Água no A4	

– <i>ou a utilização” óptima da água”</i>	239
6.1. Introdução	239
6.2. Plano Director da Água no A4	240
6.2.1. Informação de base	240
6.2.2. A zona dos mármore	244
6.2.3. Principais tarefas do PDA-A4 por sector	248
VIII. CONCLUSÕES	251
BIBLIOGRAFIA	257
AGRADECIMENTOS	273
ANEXOS	
Abreviaturas	
Definições ACV	
Matriz de Correlação	
Elenco Florístico	
Elenco Faunístico	

PREÂMBULO

Alguém um dia disse: “a água é uma coisa mágica”.

A água é humilde, procura os vales e serve com dignidade. É equilibrante e pacificadora, apaga o fogo, ou quando este quer dominá-la, escapa-se, ilesa, como vapor. Retorna como chuva bendita. A água é paciente, indomável e perseverante: nada e ninguém, nem a dura rocha, a impede de chegar ao grande Oceano. Cria, promove e desenvolve a vida. Nas quedas ganha energia para iluminar o mundo. Ao ceder, conquista, ela sempre vence a última batalha: ela é a Água. Porque não seguir os seus ensinamentos?

Depois de alguns anos de imensas intenções e muitas abordagens e trabalhos, a presente Tese surge como a água numa nascente, com uma lógica natural, sustentada numa aproximação multidisciplinar ao seu ciclo, do meio, da sociedade e do homem.

Assim, procurou-se, dentro do conhecimento existente e das propostas disponíveis (Planos de Bacia Hidrográfica; Plano Nacional da Água, entre outros), desenvolver uma Tese que assinale a utilização racional dos recursos humanos e naturais e dos ecossistemas no desenvolvimento de uma sociedade da informação à medida dos usuários - *user friendly* - tão importante no que respeita à água.

Todas as iniciativas, no fundo, apoiam a mudança do paradigma ambiental desde uma posição reactiva, do tipo “bombeiro”, a uma postura pró-activa, do tipo “conspirativo”, isto é, que actua no sentido de provocar as mudanças desejadas. Na utilização e gestão da água, a necessidade desta mudança é particularmente significativa e oportuna.

Thom Hartmann (2002) pergunta “como podem as coisas parecer tão bem e estarem tão mal? Será que John Buchan (1875-1940) tem razão quando diz: a

civilização é uma conspiração. (...) **A vida moderna é um convénio silencioso das pessoas confortáveis para manterem as aparências?”**

Segundo o mesmo autor (Hartmann, 2002), as utilizações disfuncionais do ciclo da água, resultantes de um “esquecimento” de como viver com os nossos próprios meios, devem conduzir-nos “à longa e normalmente respeitável história dos estilos de vida de Cultura Antiga dos nossos antepassados”.

Temos muito para aprender e ainda mais para recordar.

Os Antigos sabiam qualquer coisa que nós parecemos ter esquecido
(Albert Einstein).

Esquecemo-nos de como “viver de acordo com os nossos meios” e julgamo-nos totalmente independentes dos ciclos naturais. Com a água isto é particularmente verdade. Parece-nos que a água não tem “limites”?

O movimento da água, o Ciclo da Água: a vida. Só um meio dinâmico como este, alterando-se constantemente e, não obstante, repetindo-se constantemente, pode manter a vida.

A Carta Europeia da Água – Estrasburgo, 1968 – é muito clara nesta matéria. Em duas ou três páginas, em doze pontos, é tudo dito: os recursos hídricos não são inesgotáveis; alterar a qualidade da Água é prejudicar a vida do homem e dos outros seres vivos que dependem dela, e porque não, a boa gestão da água deve ser objecto de um plano promulgado pelas autoridades competentes.

Enquanto que os anos 80 constituíram a década da produtividade e os 90 se centraram na qualidade, é essencial que esta seja a década da Sustentabilidade no sentido mais nobre e integrador do termo; a Carta da Água responde: “a água é um património comum, cujo valor deve ser reconhecido por todos. Cada um tem o dever de a economizar e de a utilizar com cuidado”. “Só” isto; isto é a sustentabilidade da água, tão simples quanto distante. *Podem os bambus florescer sem água?* Job 8:11

De quem é a água?

RESUMO

A presente Tese aborda a água como factor de ordenamento do território. O Sistema Aquífero Estremoz – Cano (A4), no Alentejo Central, abrange os Concelhos de Alandroal, Borba, Vila Viçosa, Estremoz e Sousel, define a área de aplicação e desenvolvimento dos trabalhos que conduziram a esta Tese.

Trata-se de um sistema aquífero cársico, fissurado, com o sector de Cano a ter, às vezes, um comportamento poroso. Sintetiza-se o conhecimento hidrogeológico disponível e adquirido ao longo dos anos e parte-se em procura de uma utilização óptima para água e um modelo de desenvolvimento assente numa utilização sustentável desta.

Depois de conhecida a situação de referência e, bem assim, a hidrogeologia fundamental, aborda-se com detalhe a utilização da água nesta porção de território, o seu ciclo de vida e, por último, configura-se uma proposta de plano director da água.

Com base na estrutura referida é possível aceder à informação e conhecimento fundamental sobre a geologia, o clima, solos, vegetação, fauna e a uma exaustiva caracterização do Sistema Aquífero. A água, como o esperado, é de natureza bicarbonatada cálcica, às vezes magnésiana, e assume-se como reservas totais calculadas o valor de $38.6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$. Além do abastecimento público aos cinco Concelhos a principal utilização é o regadio e ainda a decorrente da importante actividade extractiva de rochas ornamentais na Zona dos Mármore.

Sabendo que cada vez mais a tipologia da utilização da água a aproxima de um recurso não renovável tentou usar-se a análise do ciclo de vida da água no A4 para melhor entender, não só o sistema aquífero, mas sobretudo a sua utilização. Constata-se que a utilização da água no A4 é essencialmente não sustentável.

Por fim, e antes de elencar algumas conclusões, é feita a tentativa de esboçar os contornos do plano director da água (PDA). Neste, quiçá, o aspecto mais relevante pode ser traduzido na geral falta de gestão e planeamento hídrico consubstanciado na convicção que a água é um bem inesgotável, acessível e gratuito. Formulam-se as grandes questões que poderão inverter esta insustentável situação e nas quais deverá assentar o PDA.

Como resultado final deseja-se contribuir positivamente para: (i.) a mitigação da escassez de água; (ii.) o princípio que o usuário deve pagar o custo íntegro da água; (iii.) o mercado da água; (iv.) a utilização óptima da água, e, finalmente, (v.) a desmitificação do *déficit hídrico estrutural*, em oposição ao real *déficit de gestão*.

SYNOPSIS

The present Thesis broaches water as a factor for territorial placement. The Estremoz-Cano Aquiferous System (A4), in the “Alentejo Central”, which covers the municipalities of “Alandroal”, “Borba”, “Vila Viçosa”, “Estremoz” and “Sousel”, defines the area of application and development of the projects that led to this Thesis.

It is an aquiferous fissured limy system, with the “Cano” sector having, at times, a porous behaviour. The long acquired and available hydro geologic knowledge is abridged and we take it from there in search of an excellent use for water and, of a model of development based on a sustainable use of it.

After the acknowledgement of the referred situation as well as its fundamental hydrogeology, the use of water in this part of the territory and its cycle of life are broached in detail and last but not least, a proposal for the plane of direction of the water is presented.

Having as basis the referred structure it is possible to gain access to fundamental information and knowledge about the geology, climate, soil, vegetation, fauna and an exhaustive characterisation of the aquiferous system. The water, as expected, is of a limy bicarbonated nature, at times magnesian, and it assumes itself as total reserves estimated at the rate of $38.6 \times 10^6 \text{ m}^3$ per year. Apart from the public supply to the five municipalities, its main usage is for irrigation and still the decurrent one from the important extractable activity of ornamental rocks in the Marble Region.

Knowing that the typology of the usage of water brings it nearer and nearer to a non-renewable resource, we have tried to use the analysis of the cycle of life of the water on A4 so as to better understand, not only the aquiferous system, but also its usage. It is established that the usage of water on A4 is essentially not sustainable.

Lastly, and before drawing some conclusions, an attempt is made to outline the plane of direction of the water. In this, the most relevant aspect may possibly be translated into the general lack of management and hydric placement consubstantiated in the conviction that the water is an inexhaustive, accessible, free asset. Big questions are laid down which will enable this unsustainable situation to be inverted and on which the plane of direction of water should be based.

As a final result it is our wish to contribute positively to: (i.) the mitigation of the scarcity of water; (ii.) the principle that the user should pay for the full cost of water; (iii.) the water market; (iv.) the excellent use of water, and, finally, (v.) the dismythicisation of the structural hydric deficit in opposition to the real management deficit.

I. INTRODUÇÃO

No momento de introduzir o leitor no objecto da presente Tese o que importa mais referir? O “mero” conhecimento hidrogeológico de um sistema aquífero? A importância da água na vida e no desenvolvimento económico e social nas sociedades modernas? A água como recurso, meio receptor e ecossistema? A consciencialização de que a água não é um recurso com uma capacidade inesgotável? De facto tudo isto, e muito mais, é fundamental, está subjacente a esta Tese e evidencia a importância da água.

A água é só uma. Esta simples afirmação é bem mais importante do que se possa supor, e, só ela, aponta para uma indispensável e incontornável mudança de atitude no que respeita à utilização e rejeição da água. Provavelmente esta é a principal ideia que sempre acompanhou o desenvolvimento deste trabalho.

Thom Hartmann (2002), a propósito da insustentabilidade energética (em tudo semelhante à hídrica) em que vivemos escreve, “sabemos que as bombas de gasolina não vão secar e os aviões não vão ficar em terra de um dia para o outro. Independentemente dos detalhes de como é que a escassez de petróleo vai afectar o mundo, uma coisa é incontornável: seremos forçados a usar menos petróleo.” Podemos aceitar qualquer escrito semelhante no que respeita à utilização da água e ao seu ciclo. Provavelmente, esta **capacidade elástica até à rotura** pode ser a grande razão para que ainda não tenham ocorrido profundas e determinantes alterações no uso qualitativo da água. Em matéria de águas subterrâneas tudo isto é ainda mais verdade. As referências às águas subterrâneas, como refere Valsero (1995), apontam, muitas vezes, para o **“problema das águas subterrâneas”** e denotam como o tema é mal tratado, ou melhor, ignorado.

A presente Tese aborda esse apaixonante tema das águas subterrâneas. Um importante Sistema Aquífero, Estremoz - Cano (A4), é o objecto de estudo. A abordagem feita procura ir muito além da questão “meramente” hidrogeológica e deseja traduzir duas ideias fundamentais:

- 1. a água é só uma;**
- 2. a água como factor de ordenamento do território.**

A água como factor de planeamento e desenvolvimento económico e social conduz, naturalmente, à estrutura e formatação do texto agora apresentado.

Desde logo o território objecto de análise assume uma marcada identidade biofísica, social e económica: i. estrutura geológica em anticlinal, cársica – com tudo o que de distintivo e particular isso significa; ii. a zona dos mármore, a vinha e o regadio são actividades impares no contexto regional; iii. das razões anteriores decorre uma estrutura social positivamente diferente do habitual interior despovoado alentejano.

A característica sócio-económica mais relevante, é, sem dúvida, a existência de rochas naturais com interesse económico, o mármore. Estas, essencialmente por razões geológicas ocorrem fundamentalmente no triângulo Borba-Vila Viçosa-Estremoz. Além desta riqueza endógena que condiciona toda a região, assumem ainda particular importância as vinhas na zona de Borba-Vila Viçosa e, embora com menor expressão, em Estremoz. As culturas de regadio (tomate, milho, beterraba, etc.), provavelmente, pela tradicional facilidade de acesso à água, têm igualmente áreas de significativa expressão. Destaca-se no Concelho de Sousel a zona de Cano. Além dos pomares e hortas de Borba, Vila Viçosa, Estremoz e Cano têm cada vez maior expressão os modernos olivais regados. Pela boa oportunidade económica que estes constituem é provável que a sua expressão aumente significativamente nos próximos anos. Já no que respeita à pecuária a região não goza de um grande desenvolvimento, à parte de uma dezena de explorações bovinas e suínas com alguma dimensão, essencialmente no Concelho de Estremoz, existem alguns rebanhos de ovinos que sustentam uma já significativa indústria de bons queijos alentejanos, sobretudo em Borba (Santiago de Rio de Moinhos, com mais de vinte queijarias, e Barro Branco), Estremoz e Cano.

A distinção geológica e económica do Anticlinal de Estremoz leva a que desde muito cedo variados autores tenham centrado a sua atenção neste território. No início da década de setenta Francisco Gonçalves desenvolve importantes trabalhos de cartografia e estratigrafia, depois dessa data variadíssimos autores, tais como: Tomás Oliveira, Victor Oliveira, Luis Lopes, Rui Reynaud, Brandão e Silva, António Ribeiro, Rui Dias, entre outros, têm prestado particular atenção aos aspectos geológico-estratigráficos e estruturais do Anticlinal de Estremoz. A vertente económica, pela importância da Zona dos Mármore, tem igualmente, necessariamente, motivado imensos trabalhos, designadamente do IGM, do CEVALOR e da Universidade de Évora. Outros temas, como o ambiente e ordenamento têm, também, conduzido a muitas investigações e estudos, designadamente, por Rosário Ramalho e Cristina Martins ambas da (DRAOT-Alentejo), Carlos Costa, Ruben Varela e nós próprios. Na última década foram dezenas os Trabalhos de Fim de Curso de Licenciatura de alunos-estagiários da Universidade de Évora, alguns de grande qualidade e interesse, muitos orientados por nós, que se desenvolveram no A4. No que respeita à hidrogeologia o interesse não tem sido menor, desde logo, por Manuel Oliveira da Silva e Carlos Costa Almeida da FCUL, os precursores da moderna hidrogeologia portuguesa, depois por Augusto Costa do IGM, Pais Quina do INAG e Vieira da Silva. Nos últimos quinze anos, com o nosso próprio trabalho de mestrado, iniciaram-se um conjunto de importantes trabalhos nesta matéria. Em 1999 Carla Midões apresenta, em Dissertação de Mestrado, o seu contributo para o conhecimento da hidrogeologia do A4, e em 2000 é concluído o ERHSA que marca um considerável esforço e meios na investigação hidrogeológica do A4.

Assim, nesta Tese, considerando a água neste espaço, somos conduzidos ao Sistema Aquífero A4: conhecer o aquífero; quanta água tem; onde; qual a sua qualidade? É o conhecimento de base, de partida. Este saber inicial está essencialmente nos Capítulos II e III, Situação de Referência e Hidrogeologia, respectivamente. No seguinte Capítulo IV, “o ciclo da água no A4” tem-se a ambição de passar em revista tudo o que se prende com a água naquela porção de território; as suas implicações; alguma análise prospectiva e também algumas

propostas de solução. Segue-se, no Capítulo V, a “análise do ciclo de vida da água no A4”, onde, conforme a metodologia desta ferramenta, a água é tratada como *matéria prima, produto e resíduo*. Nesta parte da Tese tudo se resume a uma questão: até quando o ciclo da água é sustentável no A4?

O Capítulo VI, “A água e a rocha no planeamento - (hidro)carsologia aplicada”, aborda a tão ignorada, como importante matéria, da relação da água com a rocha como factor de risco.

Por último, em jeito de corolário, antes das Conclusões, no Capítulo VII, procura-se contribuir para o plano director da água no A4.

Estamos pois perante a água, neste caso essencialmente subterrânea, considerada como um bem ambiental que toma parte de uma determinada função de produção, bem estar e sustentabilidade. Isto é, pela sua transcendência, muito mais que um sistema aquífero, ou que (a falta de) um conjunto de opções estratégicas assentes na **utilização óptima da água**, mas antes, a água como suporte à vida.

Em qualquer caso, se, depois de realizada e lida a presente Tese, surgir alguma outra questão ou inquietude, relativa à necessidade de aprofundar e oferecer alternativas interessantes para a sua aplicação no A4 o autor sentir-se-á muito satisfeito.

II. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE REFERÊNCIA

1. Introdução

Estamos no Alentejo Central. Os limites geográficos da área estudada são definidos por uma característica geológica, a série vulcano-sedimentar de idade paleozóica de Estremoz a que associamos uma mancha de calcários recentes (Cano). Esta "unidade geológica" configura outras identidades à zona de estudo: recurso geológico (mármore); geomorfologia; natureza do solo e até a flora.

São cinco concelhos: Alandroal, Vila-Viçosa, Borba e Estremoz, pertencentes ao Distrito de Évora, e Sousel no Distrito mais a norte do Alentejo, Portalegre. A área estudada tem cerca de 200 km² e alonga-se segundo direcção NW-SE, entre a região de Cano (Sousel) e Alandroal. Grande parte deste território, corresponde à estrutura geológica conhecida por Anticlinal de Estremoz..

A extracção de rochas ornamentais no triângulo Estremoz-Borba-Vila Viçosa assume uma enorme importância sócio-económica, não só local, mas também nacional. Além desta riqueza endógena que condiciona toda a região, assumem ainda particular importância outras actividades como a vinha, o regadio, o olival, os pomares, ou até mesmo, as próprias queijarias. A vinha tem cada vez mais relevância em Estremoz e, sobretudo, em Borba. O regadio, pela abundância (?) de água está disperso um pouco por toda a zona mas é em Cano (Sousel) que tem uma dimensão de grande relevância. O mesmo se passa com os pomares e olivais, estes últimos com um marcado incremento e com significativa tendência para aumentar. Menos significativo é o sector pecuário, poucas vacarias e suiniculturas assumem alguma dimensão e mesmo os rebanhos de ovinos que sustentam as significativas queijarias de Borba, Estremoz e Sousel não são em grande número.

No que respeita à representação cartográfica à escala 1/25.000 do Instituto Geográfico do Exército esta mancha é representada nas folhas números 396, 397, 410, 411, 412, 425, 426, 440 e 441, encontrando-se compreendida entre os pontos geo-referenciados pelas coordenadas Gauss: M= 217, P= 227 e, M= 271, P=190, Figura 1.II.

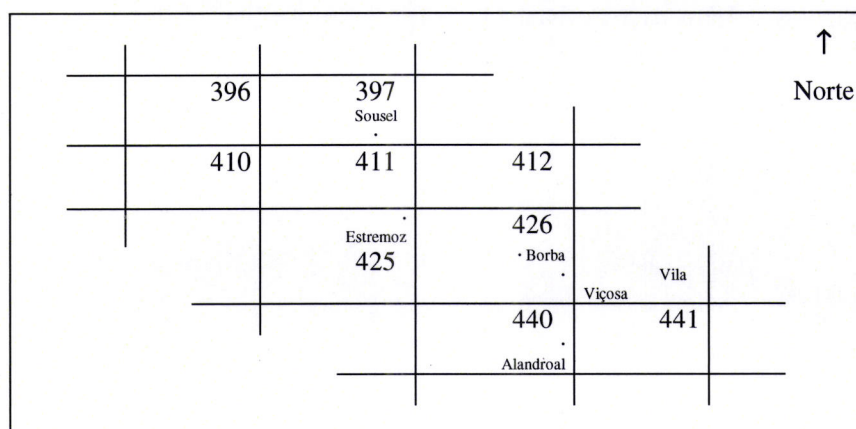


Figura 1.II - Cartas à Escala 1/25 000 do Instituto Geográfico do Exército que abrangem a área de estudo.

Na Figura 2.II localiza-se a área de estudo e apresenta-se o enquadramento geológico simplificado com a representação das principais captações de interesse público. Entre o Distrito de Portalegre (Sousel) e o de Évora (Estremoz, Borba, Vila Viçosa e Alandroal) situa-se, quase como uma ilha – social, económica e biofísica –, o anticlinal de Estremoz a que do ponto de vista hidrogeológico se associam os calcários de Cano dando origem ao A4.

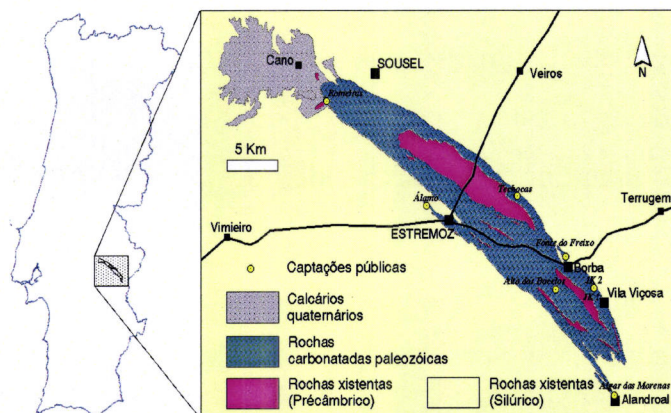


Figura 2. II - Localização e geologia da área de estudo.

2. Geologia e tectónica

Paleogeograficamente o sistema aquífero Estremoz-Cano (A4) situa-se na zona estrutural designada por Ossa Morena (ZOM), definida por Lotze (1945).

A interpretação das características geológico-estruturais da Zona de Ossa Morena tem merecido a atenção de variados autores (Lotze, 1945; Gonçalves, 1970; Bard, 1971; Julivert *et al.*, 1974; Robardet, 1976; Ribeiro, 1979; Florido e Quesada, 1984; Oliveira *et al.*, 1991; Abalos, 1992; Lopes, 1995, etc.) que a constatarem como a unidade paleogeográfica e tectónica da Península Ibérica mais heterogénea e complexa onde se definem vários domínios e subdomínios.

Na parte portuguesa da ZOM consideram-se os seguintes sectores:

- 1- Faixa Blastomilonítica;
- 2- Alter do Chão - Elvas;
- 3- Estremoz - Barrancos (onde se insere o Anticlinal de Estremoz);
- 4- Montemor - Ficalho;
- 5- Complexo de Beja

A ZOM é separada a NE, da Zona Centro Ibérica através de um conjunto de acidentes complexos, actuantes em regime transpressivo tangencial, normalmente de desligamento esquerdo associados a uma componente cavalgante para leste (Lopes, 1995, Pereira 2000) e a SW, da zona Sul Portuguesa, por importantes acidentes tectónicos resultantes dos últimos episódios da orogenia hercínica (Oliveira *et al.*, 1991).

É no sector de Estremoz-Barrancos que se insere o anticlinal de Estremoz. Nesta estrutura hercínica é possível identificarem-se duas fases de dobramento principais (Carvalhosa *et al.*, 1987). A forma actual do anticlinal é devida à segunda fase de dobramento. As dobras assim originadas apresentam vergência para NE, planos axiais subverticais e eixos com orientação geral NW-SE, (Figura 3.II – perfil I), mergulhando para os fechos em periclinal nas extremidades NW e SE.

A primeira fase de deformação terá originado dobramento isoclinal apertado, sinmetamórfico com direcção axial N-S a NNW-SSE e xistosidade de fluxo que se confunde, às vezes, com a estratificação, dado o paralelismo entre as duas estruturas planares. A segunda fase de deformação originou novos dobramentos acompanhados de clivagem de fractura e microcrenulação. Na área do Alandroal, as dobras de segunda fase com orientação geral NW-SE são assimétricas e não isoclinais (Carvalhosa et al., 1987) (Figura 3.II - perfil II).

Depois da formação do anticlinal, acções tectónicas provocaram o desmembramento da estrutura, de uma maneira geral segundo desligamentos esquerdos, com direcção NE-SW. Estes acidentes em fase distensiva foram intruídos por filões de composição básica, aproveitando a fracturação induzida pelos movimentos tectónicos.

A orientação das fracturas ligadas ao campo de tensões que gerou o anticlinal de Estremoz varia muito de local para local. Parece no entanto haver duas famílias de fracturas que apresentam maior constância, são o caso da família associada à xistosidade da segunda fase, e a família de fracturas associadas à direcção preferencial de instalação de filões (NE-SW).

2.1 Litoestratigrafia

Os afloramentos mais antigos no anticlinal de Estremoz, pertencem ao Precâmbrico e correspondem a xistos cinzentos e verdes cloríticos, com intercalações de quartzitos negros e liditos, conhecidos por “Xistos de Mares”. Esta formação apresenta dois importantes afloramentos no interior da série carbonatada, particularmente entre o vértice geodésico do Caixeiro e Arcos e também a Sul de Borba e de Vila Viçosa (Carvalhosa et al., 1987).

Sobre a Formação de Mares repousa discordantemente a Formação Dolomítica, datada do Câmbrio inferior, com espessura superior a 300 m, sendo

constituída por calcários dolomíticos, mármore e na base por conglomerados, arcoses e vulcanitos ácidos (Lopes, 1995). A caracterização mineralógica efectuada em amostras de dolomito cristalino que afloram no Monte da Janela revelam tratar-se de calcários dolomíticos muito puros com quantidades muito pequenas de micas, quartzo, anquerite e hiperstena (Lopes, 1995). No topo desta formação ocorre um horizonte silicioso descontínuo, localmente mineralizado com sulfuretos, que corresponderá, segundo Oliveira (1991) a uma lacuna estratigráfica entre o Câmbrio inferior e, possivelmente, o Ordovício.

À discordância atrás referida segue-se o Complexo Vulcano-Sedimentar Carbonatado de Estremoz, constituído por mármore, calcoxistos e vulcanitos de natureza ácida e básica. A actividade vulcânica foi acompanhada por sedimentação carbonatada com grande interesse económico, sendo constituída por calcários cristalinos pouco xistificados de grão médio, por vezes dolomitizados. Esta dolomitização é pequena afectando apenas parcialmente a faixa marmórea. É nestes mármore, em geral de cores claras, pouco xistosos de grão grosso e médio, que se desenvolve a importante actividade extractiva do anticlinal de Estremoz.

As rochas carbonatadas do Complexo Vulcânico-Sedimentar encontram-se envolvidas por rochas metamórficas do Silúrio/Devónico (Piçarra, 2000). Estas são formadas predominantemente por xistos, mais ou menos grafitosos, metavulcanitos máficos e níveis de liditos.

O Plistocénico é representado por calcários e brechas calcárias com fauna límica. Aflora nas zonas deprimidas e parece corresponder a depósitos formados em pequenas bacias ao longo do maciço calcário de Estremoz, com particular desenvolvimento na região de Cano (junto à terminação periclinal NW do anticlinal) onde constitui uma superfície muito regular (Cupeto, 1991). Observam-se ainda pequenos retalhos dispersos em toda a região, nomeadamente ao longo da estrada entre Glória e Bencatel, junto a Pardais (Lopes, 1995).

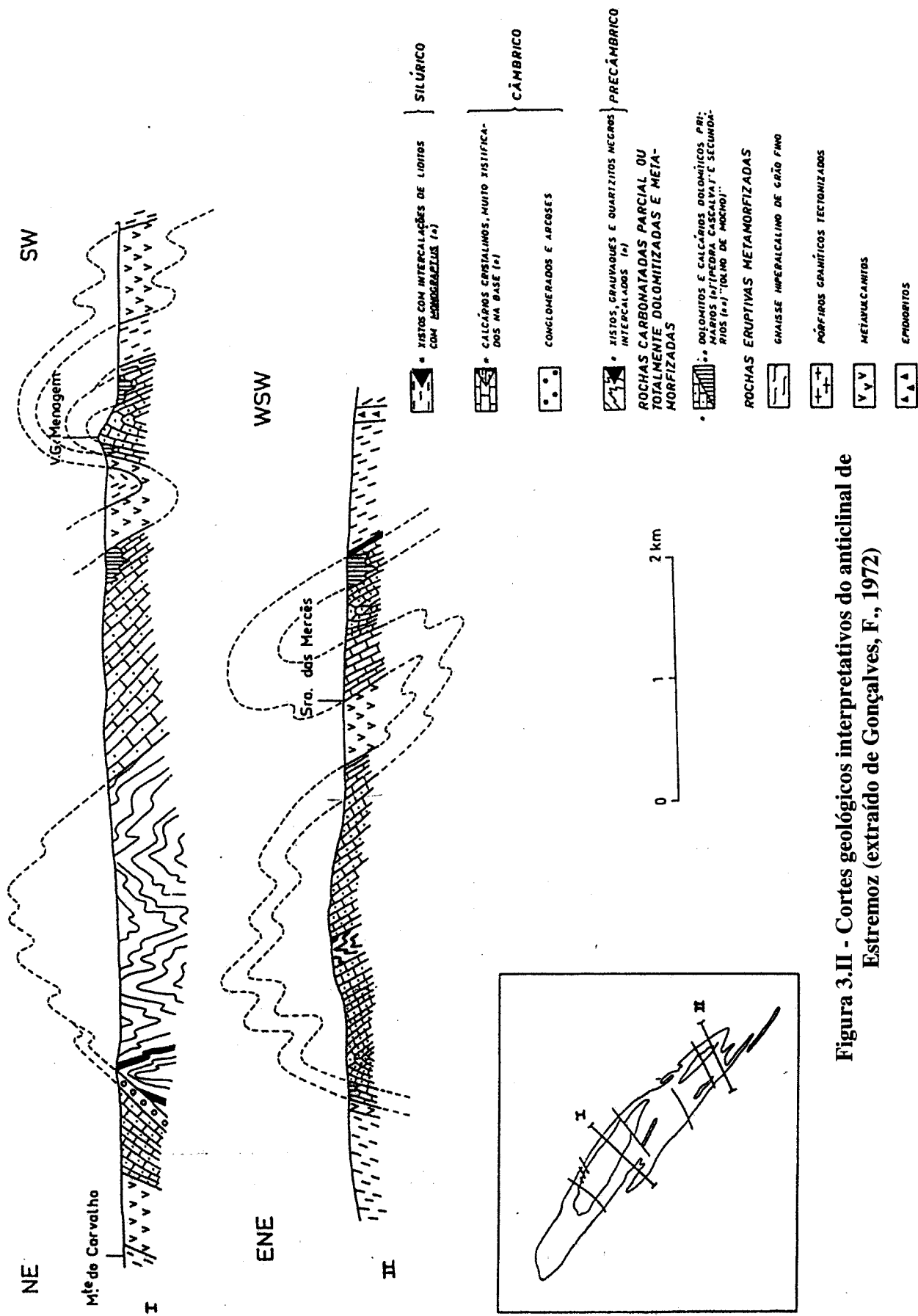


Figura 3.II - Cortes geológicos interpretativos do anticlinal de Estremoz (extraído de Gonçalves, F., 1972)

3. Geomorfologia

A morfologia que hoje se pode observar na zona do Anticlinal, e área de estudo a que corresponde o Sistema Aquífero A4, é o resultado do somatório de numerosos factores, designadamente os climáticos, variáveis ao longo da história geológica. As formas características de um dado regime climato-genético terão sido múltiplas vezes remobilizadas quando sujeitas a novas condições (Ford e Williams, 1989).

O Anticlinal de Estremoz, caracteriza-se geomorfologicamente por apresentar uma extensa sequência de morros ondulados, designados "mamões" por Mariano Feio (Cupeto, 1991), particularmente evidentes e conservados no extremo norte a partir do monte de S. Miguel (Sousel). Estas formas cársicas terão resultado da alteração das rochas carbonatadas em clima tropical (Cupeto., 1991) e denotam um evidente controlo litológico pela presença das rochas dolomíticas, mais resistentes à erosão, nas cotas mais elevadas. A hipótese, provável, deste tipo de clima nesta zona em tempos geológicos passados é também indicada pelo regimen lacustre que deu origem aos calcários de Cano. Estes morros destacam-se da peneplanície envolvente bem marcada constituída predominantemente por rochas xistificadas.

Segundo Feio e Martins (1993) a existência destes morros está também associada a razões tectónicas; embora os dolomitos se mostrem mais resistentes do que os xistos e mármore.

O núcleo do anticlinal corresponde a uma zona aplanada, planáltica, onde afloram as rochas xistentas do Proterozóico.

Paralelamente a esta estrutura, e muitas vezes visível dos flancos a Sul, dispõe-se o relevo mais importante da região, a Serra de Ossa (cota 650 m), que corresponde igualmente a um anticlinal, neste caso constituído por formações xistentas e quartzitos do Câmbrio – Devónico (?) (Piçarra, 2000). É a ocorrência da Serra de Ossa, com a mesma orientação geral mas com cotas

superiores, que forma uma barreira às massas de ar vindas de Norte provocando um pólo de precipitação na zona sul do anticlinal de Estremoz.

A média das cotas dominantes do anticlinal de Estremoz situa-se pelos 400 m. Acima destas, sobressaem entre Sousel e o Alandroal dois alinhamentos que constituem cristas de relevo, formadas por dolomitos e orientadas segundo a direcção axial NW-SE, a orientação geral do anticlinal. Todavia a charneira da estrutura anticlinal situa-se entre estes dois alinhamentos de cristas.

De Estremoz para noroeste, até Cano, as cotas das cristas vão de 370 a 450 metros e estão bem marcadas na paisagem, enquanto que para um e outro lado dos calcários o relevo rapidamente dá lugar a uma plataforma levemente inclinada, iniciando-se cerca da cota 280 m. Para sudeste de Estremoz até ao Alandroal, embora continuem a verificar-se a existência de elevações calcárias, o relevo é menos vigoroso e menos evidente até pela existência de intensa actividade extractiva que altera, mascara e encobre as formas naturais (Paradela & Zbysezewski, 1971). Actualmente é a existência dos grandes aterros (escombreyras) que domina a paisagem deste sector do Anticlinal.

É ainda relevante o facto do maciço carbonatado não encostar de forma brusca à peneplanície envolvente mas antes por uma planície de sopé. Esta aplanacão nos calcários tem ainda a particularidade de no bordo NW do maciço estabelecer uma ligacão quase perfeita com a extensa aplanacão que constituem os calcários lacustres de Cano (Cupeto, 1991).

A rede de drenagem como seria de esperar não evidencia qualquer linha de água de grandes dimensões, quer pela natureza do substrato rochoso que favorece a infiltração quer por estarmos em presenca da zona alta das bacias hidrográficas dos rios Tejo e Guadiana uma vez que a linha de feto que separa estas duas bacias se localiza próximo de Estremoz a sudeste desta cidade. Assim, a noroeste, temos a ribeira de Tera, subsidiária do rio Sorraia (afluente do rio Tejo), e a sudeste, a ribeira de Rio de Moinhos, que drena para a ribeira de Lucifecit, única linha de água perene de toda a região e afluente do rio Guadiana.

Por último, é de salientar que os declives naturais são suaves. Considerando um estudo de Costa (1992) o relevo é composto por vertentes que podem de um modo geral ser divididas em três classes de declives:

1. O terço superior da encosta com declives excedendo os 16 %, correspondem a afloramentos dolomíticos mais resistentes;
2. Uma parte intermédia com declives entre os 8 % e 16 %, onde se encontra a jazida de rochas com interesse económico;
3. A base da encosta, com declives suaves entre 2 % e 8 %; vertentes estas envolvidas pela peneplanície já referida.

4. Climatologia

Considerando o conjunto das condições meteorológicas predominantes na zona é possível fazer a caracterização climática da região estudada. Segundo o conceito mais amplamente aceite o clima de um lugar fica definido pelas estatísticas a longo prazo dos factores que descrevem o tempo desse lugar, tais como a temperatura, a humidade, o vento a precipitação, etc., sendo o **tempo o estado da atmosfera num lugar e num momento determinados**. Assim o **clima duma região é o conjunto das condições atmosféricas que aí se manifestam tipicamente ao longo dos anos**.

Como é aceite o clima é bastante condicionante do tipo de solo, vegetação e bem assim da topografia, influenciando o tipo de utilização que o homem faz da terra.

As características, ou *elementos climáticos*, (a radiação solar e a luz, a temperatura do ar, a pressão atmosférica, o vento, a composição e humidade do ar, a precipitação, a evaporação, etc.), parcialmente interrelacionadas, mostram modelos de variação espacial e temporal complexos, que em parte podem

explicar-se em função de certas características geográficas e atmosféricas chamadas *factores do clima*.

De entre todos escolheram-se os dois parâmetros climáticos fundamentais em estudos hidrogeológicos: precipitação e temperatura. O seu conhecimento pode traduzir-se, essencialmente, no estudo dos recursos hídricos duma região.

4.1 Precipitação

No planeamento das actividades antrópicas é fundamental o conhecimento da quantidade e do regimen de precipitação na superfície da Terra. Por precipitação entende-se a quantidade de água transferida da atmosfera para a Terra no estado líquido ou sólido durante um determinado período de tempo.

Neste trabalho utilizaram-se as dez estações, que se situam sobre a área em estudo, ou próximo desta, e que por isso melhor poderão ajudar a conhecer a precipitação que cai sobre o Sistema Aquífero Estremoz-Cano (A4) (Tabela 1.II).

Nas estações utilizadas foi possível considerar séries de 40 anos (1956/57 - 1995/96).

Algumas das estações apresentavam-se incompletas, faltando três ou menos dados mensais. Estes dados foram estimados através da aplicação de técnicas de regressão múltipla com transferência de informação de dados de precipitação ocorridos em estações próximas e com séries completas.

As estações cujos dados de precipitação estavam incompletos eram: Barragem do Maranhão, Fronteira, Estremoz, Vimieiro e Alandroal. Com o objectivo de determinar quais as estações com séries completas que eram mais correlacionáveis com as estações de séries incompletas foi elaborada uma matriz de correlação das 10 estações seleccionando-se para cada estação a completar um conjunto de duas ou três estações com elevado coeficiente de correlação.

Tabela 1.II - Estações udométricas e climatológicas utilizadas

Designação	Coordenadas Gauss		Altitude (m)	Bacia Hidrográfica	Tipo
	M	P			
B. Maranhão	213792	226576	175	Tejo/Sorraia	Climatológica
Fronteira	241943	231425	245	Tejo/Avis	Udométrica
Pavia	210416	214405	192	Tejo/Sorraia	Udométrica
Sousel	239812	219942	265	Tejo/Avis	Udométrica
Estremoz	247204	208171	430	Tejo/Tera	Udométrica
Vimieiro	225840	206685	235	Tejo/Tera	Udométrica
Vila Viçosa	261915	202197	370	Guadiana/Assica	Udométrica
Alandroal	263421	191939	350	Guadiana	Udométrica
Juromenha	277509	197214	206	Guadiana	Udométrica
Redondo	250838	186792	315	Guadiana/Degebe	Udométrica

Com base na matriz (em Anexo) de correlação foram seleccionadas as seguintes estações cujas séries estavam completas (Tabela 2.II).

Tabela 2.II - Estações seleccionadas.

<u>Estação a completar</u>	<u>Estações mais correlacionáveis</u>
Barragem do Maranhão	Pavia, Redondo e Sousel
Fronteira	Redondo, Pavia e Juromenha
Estremoz	Redondo, Sousel e Juromenha
Vimieiro	Juromenha e Pavia
Alandroal	Redondo, Sousel e Juromenha

O método de regressão múltipla foi então aplicado de modo automatizado recorrendo-se ao programa COMPLET.BAS (Almeida, não publicado).

De seguida todas as séries foram testadas pelo método de dupla acumulação, através do programa DOBLMASS.BAS (Almeida, não publicado) com o objectivo de detectar possíveis erros sistemáticos ou acidentais que tenham ocorrido.

Com a excepção da estação de Sousel onde foi identificado um erro sistemático nos primeiros 7 anos de registo, todas as outras estações apresentavam consistência de dados com a *estação tipo*.

4.2 Cálculo da precipitação média no Sistema Aquífero

Em qualquer estudo hidrogeológico, nomeadamente na determinação do balanço hídrico, o calculo da precipitação média caída numa dada bacia hidrográfica ou região é da máxima importância.

Existem vários métodos para estimar a precipitação média, sendo a sua utilização função das características físicas e climáticas da área em estudo. Os métodos que geralmente são utilizados são: média aritmética; polígonos de Thiessen e, curvas isoietas. Em 1991 para a mesma área de estudo, com séries de 30 anos de dados, utilizámos, os dois métodos referidos, comparando os resultados com a média aritmética. Verifica-se que os valores obtidos são muito semelhantes, em 1991:

Polígonos de Thiessen	652.7 mm
Isoietas	652.4 mm
Média aritmética	644.3 mm

Assim neste trabalho optou-se por usar o método dos polígonos de Thiessen (Figura 4.II) onde a precipitação média anual numa determinada região é dada pela expressão:

$$P = \sum_{i=1}^n \left(P_i \cdot \frac{S_i}{S} \right)$$

P - precipitação média anual na área estudada (mm)

P_i - precipitação média anual do polígono i (mm)

S_i - área da região considerada inserida num dado polígono i (km²)

S - área total da região considerada (km²).

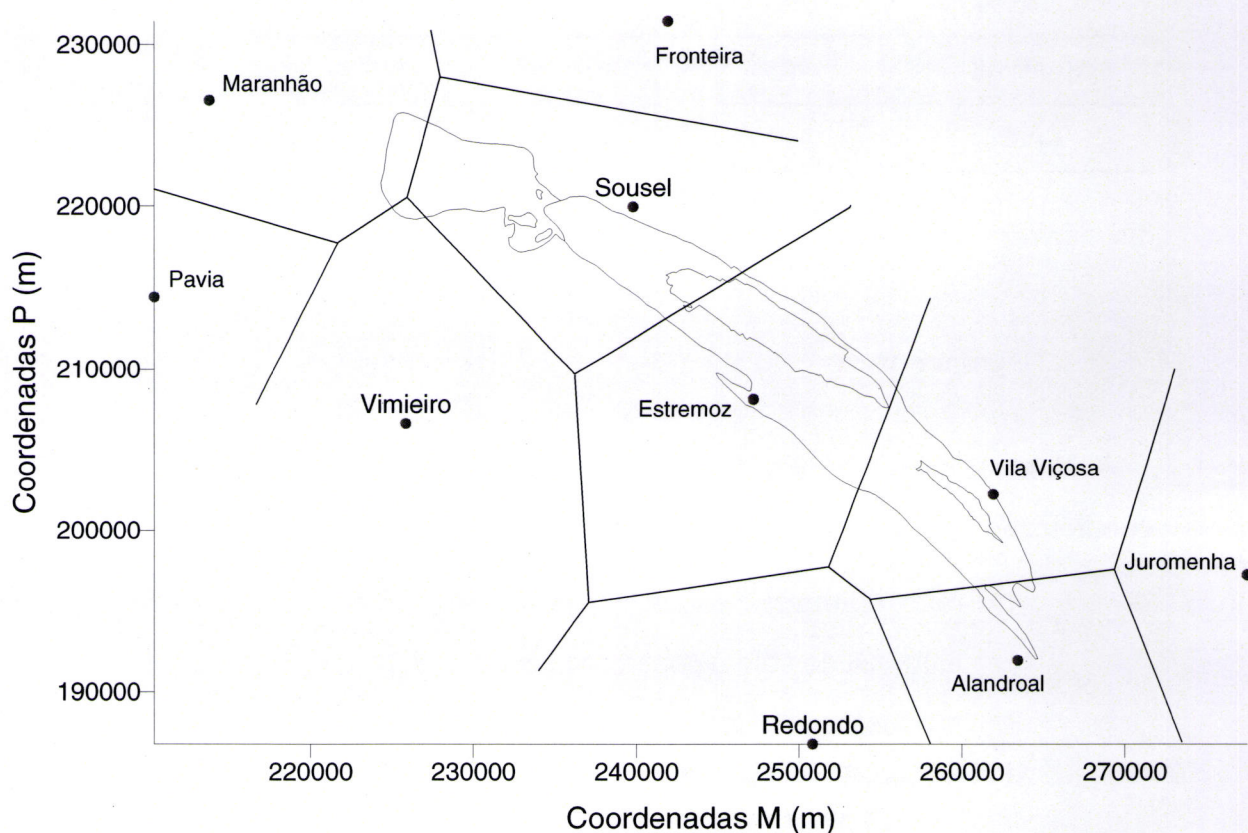


Figura 4.II - Polígonos de Thiessen aplicados ao Sistema Aquífero Estremoz – Cano (INAG, 1999).

Conforme a Tabela 3.II considera-se assim em 668,1mm a precipitação média anual sobre o Sistema Aquífero. Em 1991 tinha-se chegado ao valor de 652.7 mm verifica-se uma variação positiva de cerca de 2%. Assim, sabendo que as séries de dados de 1999 são mais extensas e actuais, despreza-se o valor de 1991 e considera-se o valor de 668.1mm como a precipitação média da região. A coerência deste valor é ainda confirmado pela simples média aritmética quando

se considera que estamos em presença de estações que se localizam numa zona de características fisiográficas e coberto vegetal muito semelhantes.

Tabela 3.II - Estimativa da precipitação média anual no Sistema Aquífero.

Estação	P_i (mm)	S_i (km²)	S_i/S	P_i x (S_i/S)
B. Maranhão	645	10,0	0,049	31,6
Vimieiro	576	2,0	0,010	5,8
Sousel	634	75,0	0,371	235,2
Estremoz	638	57,5	0,285	181,8
V. Viçosa	761	52,0	0,257	195,6
Alandroal	647	5,6	0,028	18,1
Total	-	202,1	1	668,1

4.3 Temperatura

Como é sabido a distribuição espacial da temperatura do ar numa região é condicionada principalmente por factores fisiográficos:

1. relevo (atitude e exposição ao sol);
2. natureza do solo e coberto vegetal ;
3. proximidade a grandes massas de água;
4. regime de ventos.

A análise dos valores médios da temperatura do ar, baseou-se nos dados obtidos na estação climatológica da Barragem do Maranhão (única estação com dados de temperatura para a região considerada), Figura 5.II.

A distribuição da temperatura média mensal demonstra que os meses com temperaturas mais elevadas são Julho e Agosto e com temperaturas mais baixas são, Dezembro e Janeiro. A temperatura média anual é de 16,2°C.

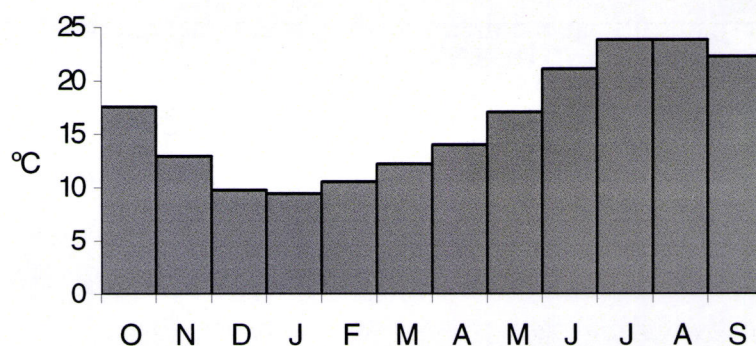


Figura 5.II - Distribuição da temperatura média mensal na Barragem do Maranhão.

4.4 Evapotranspiração

A passagem de água, no estado vapor, à atmosfera a partir da superfície da Terra é uma constante e ocorre por:

1. evaporação;
2. transpiração das plantas.

O conceito de evapotranspiração foi introduzido por Thornthwaite em 1948 e é um parâmetro hidrológico que depende de muitos e complexos factores que influenciam a evaporação e a transpiração. Este parâmetro pode ser estimado através de métodos empíricos desenvolvidos por: Thornthwaite (1948), Turc (1955) e Coutagne (1954).

Neste trabalho consideram-se os métodos de Thornthwaite, Turc e Coutagne, cujos fundamentos teóricos podem ser consultados em variadíssimos autores, designadamente em Custódio e Llamas (1983).

Para o cálculo da evapotranspiração da área em estudo utilizou-se o programa CEDEVAP, Almeida (1979), tendo-se obtido os resultados expressos na Tabela 4.II.

Tabela 4.II - Evapotranspiração real calculada segundo os métodos de Thornthwaite, Turc e Coutagne.

Barragem do Maranhão	THORNTHWAITE			TURC	COUTAGNE
	c.c. 100	c.c. 125	c.c. 150	503.4	506.3
	465.6	490.6	515.6		

Os resultados de EVR obtidos pelos métodos de Turc e Coutagne são muito semelhantes. Sendo também semelhantes os resultados obtidos pelo método de Thornthwaite quando se considera uma capacidade de campo de 150 mm. A escurrência total para esta capacidade de campo é de 123.6 mm. Para valores de c.c. de 100 e 125 é respectivamente de 173.6 e 148.5 mm.

Estes valores devem ser interpretados com algum cuidado pois, entre outras limitações, os dados de temperatura se reportam a apenas uma estação meteorológica (Barragem do Maranhão).

4.5 Infiltração

A falta de medições directas com infiltrómetros leva a que a quantificação do volume infiltrado seja calculado por métodos indirectos. Cupeto (1991), considera o escoamento superficial igual a 30mm e, fazendo o balanço de cloretos, calcula em 15% da precipitação, a infiltração eficaz para a região NW do Sistema Aquífero.

O mesmo autor admite ainda a subestimação do valor, justificando-a com o incremento do teor de cloretos na água subterrânea por contaminação agrícola.

Por mero exercício, se considerarmos a concentração média em cloretos da água da chuva em Estremoz de 1989 (3,8 mg/L) e, concentrações mínimas em cloretos das águas subterrâneas amostradas em todo o sistema aquífero durante o ERHSA (por ex. 15 mg/L), a infiltração eficaz sobe para 25%, o que parece ser

um valor mais razoável. Valores da ordem dos 30% de infiltração têm sido considerados por vários autores e são confirmados por outros métodos como as curvas de esgotamento de nascentes como se verá no ponto seguinte.

4.6 Curvas de esgotamento de nascentes

No sentido de confirmar e sustentar o considerado anteriormente e num meio cársico / fissurado como é o caso do sistema aquífero de Estremoz – Cano, durante o ERHSA, com base em trabalhos já anteriormente realizados (Costa, 1985), recorreu-se ao método de curvas de esgotamento de nascentes.

Nesse sentido usaram-se quatro nascentes localizadas entre Estremoz e Borba, Figura 6.II.

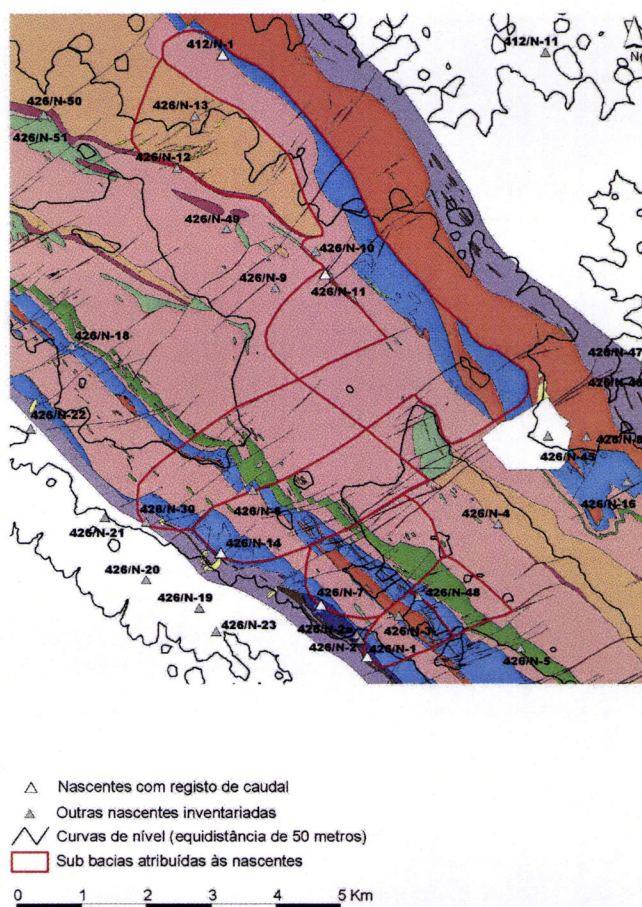


Figura 6.II - Representam-se as nascentes (426-N7; 412-N1; 426-N1; 426-N14) e as respectivas bacias de drenagem, sobre as quais se procedeu ao traçado das respectivas curvas de esgotamento.

A metodologia seguida assenta na medição do caudal as nascentes no período de estiagem, ou seja a partir do momento em que deixou de chover, isto é, em regimen não influenciado, Gráfico 1.II.

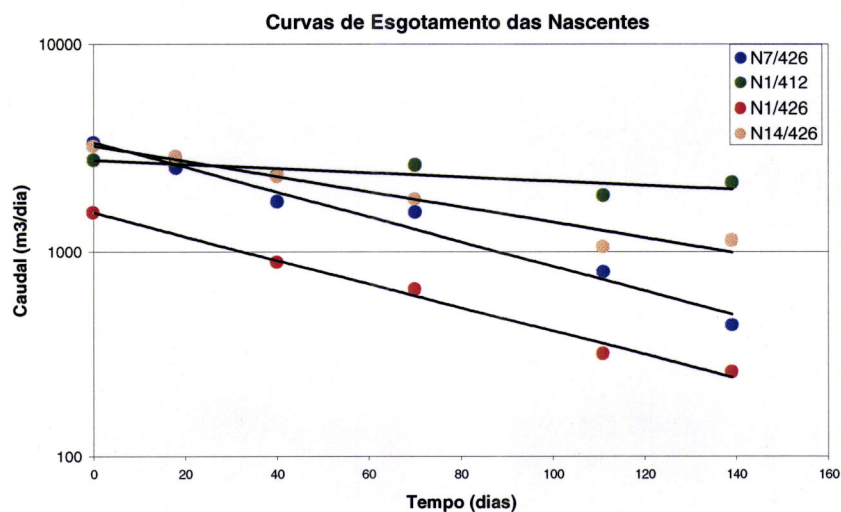


Gráfico 1.II - Representa as medições de caudal efectuadas.

A diminuição do caudal das nascentes parece seguir uma lei exponencial segundo:

$$Q = Q_0 \cdot e^{-\alpha t} \quad [\text{equação de Maillet, in: Benitez, 1972}]$$

Onde:

- Q - caudal num dado instante
- Q_0 - caudal que se escoia no início da vasão
- t - o tempo decorrido desde essa altura
- α - coeficiente de esgotamento (constante).

Assim, considerando as bacias drenantes, sabendo que a determinação da área da sub-bacia hidrogeológica associada a cada nascente obedeceu a vários critérios, como: topografia, litologia, estrutura e hidrografia, foi possível determinar os volumes armazenados (V_0) correspondentes aos caudais medidos, utilizando a expressão que relaciona os caudais de descarga com os respectivos volumes armazenados, num dado instante:

$$V_0 = Q_0 / \alpha$$

esta expressão não é mais do que a integração da equação de Maillet para um valor inicial do caudal (Q_0) (Oliveira 1997).

Somando os volumes obtidos temos cerca de 4 hm³ para as quatro nascentes consideradas.

Na determinação da área de recarga associada à nascente N1/412–Techocas foram consideradas duas situações: uma em que a mancha dos xistos do Pré-Câmbrico foi excluída por esta não contribuir com escoamento subterrâneo e outra onde esta formação xistenta foi incluída, uma vez que esta constitui uma área de recarga, por captura de linhas de água tendo-se obtido como consequência uma menor taxa de infiltração.

Perante as duas hipóteses admite-se que a segunda traduz melhor a realidade já que não se poderá desprezar o escoamento superficial que ocorre nesta zona e se infiltrará na formação carbonatada imediatamente a jusante.

Na determinação da sub-bacia hidrogeológica associada à nascente das Techocas foi ainda possível determinar o comprimento da respectiva bacia utilizando a expressão:

$$\alpha = (2/L^2) \cdot (T/S) \quad \therefore \quad L^2 = 2T/\alpha S$$

onde:

- T - transmissividade (m^2/dia)
- S - coeficiente de armazenamento do aquífero
- L - é o comprimento do aquífero (m).

Os valores de T e S são considerados a partir de um ensaio de bombeamento efectuado nos furos das Techocas ($T = 3134 \text{ m}^2/\text{dia}$ e $S = 0.084$) permitiram obter um valor de $L = 7.1 \text{ Km}$ (Costa, 1985).

Na Tabela 5.I estão sintetizados os valores de:

- áreas afectas a cada nascente
- precipitação afecta a cada área
- volume debitado por cada nascente
- valor de recarga obtido.

Tabela 5.II - Parâmetros utilizados na determinação da recarga.

Referencia da nascente	Área da bacia (Km^2)	Volume de precipitação (mm)	Volume debitado pela nascente (m^3)	Recarga (%)
N1/412 s/ Pré-câmbrico	8.6	7043566.3	2739045.0	38.9
N1/412 c/ Pré-câmbrico	12.1	9629404.8	2739045.0	28.4
N1/426	1.0	802820.8	265687.0	33.1
N14/426	3.5	2939399.8	874520.1	29.8
N7/426	2.7	2249746.2	558796.7	24.8
Total s/ Pré-câmbrico	15.7	30119521.0	9004962.0	31.6
Total c/Pré-câmbrico	19.1	15621371.0	4438048.8	29.0

Assim, confirma-se, como razoável, o valor de 30 % para a taxa de infiltração associada às formações carbonatadas do anticlinal de Estremoz.

4.7 Recursos hídricos subterrâneos renováveis

Considerando como precipitação média anual, obtida com base nos polígonos de Thiessen, um valor de 668.1 mm, para uma área de aproximadamente 202,1 Km², e um valor de infiltração eficaz de 30%, obtemos, então, um volume de cerca de 38.6×10^6 m³/ano de recursos renováveis disponíveis em todo o sistema aquífero.

4.8 Classificação climática

Segundo Gonçalves et al (1987), o clima da região é considerado moderado, predominantemente seco e, quanto ao regime de precipitação, moderadamente chuvoso.

Para Koppen, o Alto Alentejo é denominado província continental de baixa altitude, classificando-se no sub-tipo Csa – mesotérmico húmido com estação seca no Verão, que é quente.

Ainda, para Thornthwaite, no que respeita à evapotranspiração, a região enquadra-se na classe C2, onde o clima é sub-húmido (húmido) existindo grande défice de água no Verão.

5. Solo

O Glossário da Universidade do Minho (PNP Gerês)¹ define solo de forma simples e clara, assumindo que “existem diferentes concepções de solo. Em Pedologia o solo é considerado como o meio natural capaz de suportar o crescimento das plantas. Os solos são constituídos essencialmente por matéria

¹<http://www.dct.uminho.pt:16080/pnpg/gloss/glossa.html> em 28 de Abril de 2003

mineral, à qual se encontram associadas pequenas quantidades de matéria orgânica, ar e água. Formam-se a partir de produtos de meteorização das rochas e por decomposição de resíduos orgânicos.” A Figura 7.II ilustra o que em cima se diz e sintetiza de forma muito simples essa componente do meio a que chamamos solo.

Todavia, o solo, além de tudo, a par da água, é sem dúvida o principal meio receptor de tudo o que é actividade natural ou antrópica. A qualidade e características do solo determinam a riqueza de um país. Provavelmente o solo é o principal recurso de uma região ou país.

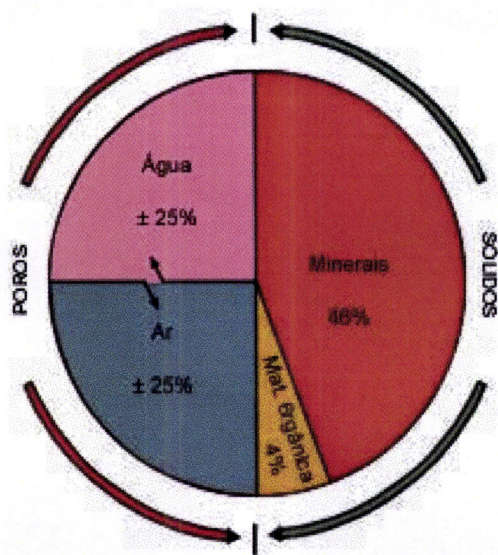


Figura 7.II - Esquema simplificado do que é o solo (Glossário U Minho)

Recorrendo à mesma fonte a Figura 8.II ilustra um perfil tipo do solo, além da rocha mãe e das condições climáticas presentes o uso e a ocupação solo determina qual o tipo e perfil de solo de uma região ou local.

A natureza, homogeneidade, granulometria e o arranjo das partículas constituintes (textura do solo) vão determinar as suas propriedades físicas. Entre estas, as que mais nos interessam são a porosidade e a permeabilidade, propriedades fundamentais no ciclo hidrológico e no suporte ao coberto vegetal. As propriedades hídricas do solo são fundamentais na compreensão do ciclo

hidrológico e não menos importantes na fundamental alimentação de água às culturas. Tudo isto depende essencialmente dos catiões presentes na água e da natureza dos minerais argilosos presentes no solo.

Os diferentes tipos de água que existem no meio superficial (solo), variam de um momento a outro em função da pluviosidade ou da evaporação, dos consumos por parte das plantas, das trocas com as reservas subterrâneas e ainda da geometria do material reservatório (poros) (Cupeto, 1991).

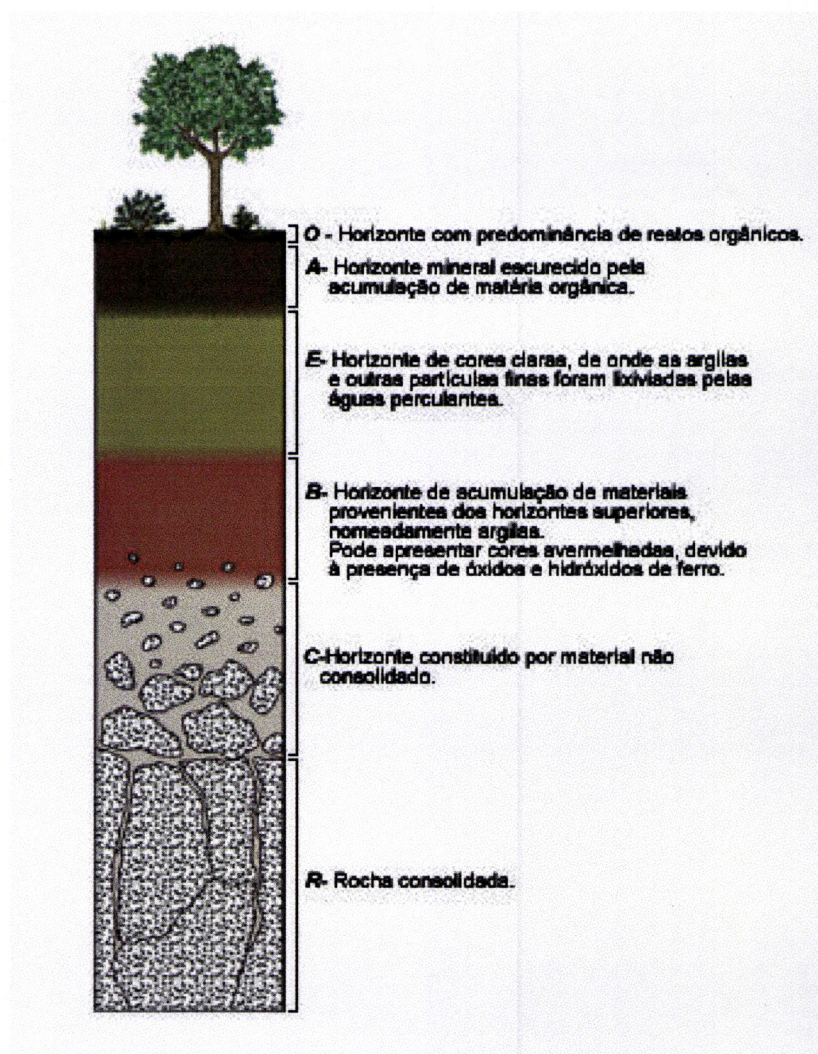


Figura 8.II - Perfil tipo e completo de um solo (Glossário U Minho)

5.1 Unidades Pedológicas

A caracterização das unidades pedológicas presentes no Sistema Aquífero A4, foi elaborada com base na Carta de Solos de Portugal, à escala 1:50 000 - SEROA.

Assim, para a área em questão é possível observar vários tipos de solo. Na zona de Vila Viçosa, Borba, Estremoz, Alandroal e Sousel, detectam-se as seguintes unidades pedológicas:

- Solos Incipientes

Sb – Coluviosolos (solos de baixas), não calcários de textura mediana.

- Solos Hidromórficos

Ca – Sem horizonte eluvial, de aluviões ou coluviais, de textura mediana.

- Solos Calcários

Pac – Solos mediterrânicos pardo de margas ou calcários margosos.

Pcd – Pardos dos climas de regime xérico, de calcários compactos.

- Solos Argiluvitados Pouco Insaturados

Pm – Solos mediterrânicos pardos, de materiais não calcários, de dioritos ou quartzodioritos ou rochas microfaneríticas ou cristalofílicas afins.

Pv – Solos mediterrânicos vermelhos ou Amarelos de materiais não calcários, normais, de rochas cristalofílicas.

Pvc – Solos mediterrânicos vermelhos ou Amarelos de material coluviado da família dos solos Vcc.

Px – Solos mediterrânicos, pardos, de materiais não calcários, normais, de xistos ou grauvaques.

Vcc – Solos mediterrânicos, pardos, de calcários cristalinos ou mármore ou rochas cristalofílicas calcio-siliciosas.

Vcv - Solos mediterrânicos vermelhos ou Amarelos de calcários cristalinos associados a outras rochas cristalofílicas básicas.

Vx - Solos mediterrânicos vermelhos ou Amarelos de xistos.

- Litossolos

Ex - Litossolos dos climas de regime xérico, de xistos ou grauvaques.

- Afloramentos Rochosos

Arc – Afloramentos rochosos de calcários ou dolomias.

Arx – Afloramentos rochosos de xistos ou grauvaques.

Na zona de Vila Viçosa prevalecem os solos Vcv+Arc, Vcc, Px e Pcv, ordenados por ordem decrescente da sua predominância. Em Arcos surgem claramente os Vcc+Arc e os Vcc. A Nordeste de Estremoz encontram-se em maioria os Vcc+Arc e Vcc interrompidos por Pv, Pm+Pv e Px. A Sul de Sto Estevão é onde existe maior variedade de solos: Pvc, Px+Vx, Ex, Vx, Sb, Pm, Pv, Pv+Pm, Vcc, Px+Arc. A Norte de Ameixial Sta Vitória predominam os Arc, Vcc+Arc. Próximo de Sousel voltamos a ter maior variedade de solos, em que o Pvc se introduz frequentemente no complexo Vcc+Arc. A mancha de Cano é constituída pelos Pca.

5.2 Caracterização geral dos solos

5.2.1 Solos Incipientes

Os Solos de Baixas são Solos Incipientes em que os processos de formação do solo não actuaram ainda tempo suficiente para provocar quaisquer diferenciações, a não ser, em muitos casos, uma certa acumulação de matéria orgânica à superfície, a qual nunca é muito grande porque, dado o bom arejamento dessa camada superior, a mineralização processa-se rapidamente. (Cardoso,1965).

Embora estes solos apresentem muitas vezes considerável variação morfológica com a profundidade, especialmente no que diz respeito à textura, não possuem verdadeiros horizontes genéticos. Os níveis sedimentares, depositados em diferentes ocasiões por acção da água e da gravidade, e que se diferenciam por características diversas, tais como textura, pedregosidade, espessura, cor, teor de carbonatos, etc., mostram normalmente transições abruptas ou nítidas de umas para outras, havendo até casos em que, pelo teor orgânico, se pode reconhecer que alguma delas foi outrora a camada superficial, por tempo demorado, dum solo hoje fóssil.

Em regra, como o esperado, não retêm a água e o teor desta é sujeito a oscilações acentuadas no decurso do ano. Encontram-se, porém, geralmente humedecidos e influenciados fortemente na sua economia de água, vegetação e biologia. Os fenómenos de redução não se manifestam com intensidade porque o teor em água oscila bastante e renova-se constantemente, mesmo na altura de saturação, o que permite um permanentemente elevado teor de oxigénio dissolvido na água. Se, porventura, a oscilação e a renovação de água se tomam diminutos, então formam-se horizontes glei e o solo passa para a Ordem dos Solos Hidromórficos. Em águas baixas, quando a descida é muito grande pode dar-se uma forte dessecação das camadas superficiais e o consequente aumento da sua compacidade, que prejudica o coberto vegetal. (Cardoso,1965).

5.2.2 Solos Hidromórficos

A textura do Solo Hidromórfico é muito variável de Família para Família, indo desde a arenosa até à franco-argilosa (ou mesmo argilosa). A percentagem de argila é sempre maior no horizonte B que frequentemente pertence ao tipo "textural". O teor orgânico é geralmente baixo, inferior a 3 %, diminuindo com a profundidade, umas vezes rápida outras gradualmente. As razões C/N são baixas ou medianas e decrescem quase sempre nos horizontes inferiores. Por outro lado as quantidades de ferro livre distribuem-se principalmente de acordo com os

movimentos da água no solo, sendo maiores na zona ou zonas de oscilação. No perfil de Ps existem muitas concreções ferruginosas nos horizontes A2 e B21g. A capacidade de troca catiónica é também muito variável, dependendo da percentagem de matéria orgânica e do quantitativo e qualitativo dos colóides minerais. O cálcio é o ião dominante. Nos horizontes de alguns solos o magnésio de troca apresenta valores bastante altos, só comuns em "Solonetz" magnesíferos. Os teores de potássio de troca são quase sempre baixos ou mesmo muito baixos, ao passo que os de sódio são, em certos casos, bastante altos, sobretudo em horizontes inferiores onde é possível a existência de uma certa salinidade ou de um carácter sódico (pouco acentuado) por virtude da percentagem de sais das águas subterrâneas. O grau de saturação é sempre superior a 75 % e a reacção varia de ligeiramente ácida a moderadamente alcalina. (Cardoso,1965).

A expansibilidade é baixa ou nula, excepto nos solos em que existem montmorilonóides e ainda no horizonte B do perfil de Sag em que apenas há ilite e caulinite ou halosite; já se tem, porém, constatado que isso é viável em minerais da argila não do grupo dos primeiros. A estabilidade da microestrutura é em regra muito elevada; nos horizontes argilosos do perfil de Sag revela-se, porém, medianamente a muito pouco estável. A capacidade de campo é mediana ou alta e a capacidade utilizável dos 50 cm superficiais é elevada, sempre superior a 60 mm de água. A porosidade da terra fina é mediana (ou baixa nalguns horizontes inferiores mais argilosos) e a permeabilidade é moderada a lenta ou mesmo nula nas camadas argilosas e maciças que existem em alguns solos desta Ordem. (Cardoso,1965).

No que respeita aos Ca os horizontes apresentados são:

- A1- 20 a 30 cm; pardo-acinzentado, pardo-acinzentado-escuro ou cinzento-escuro; textura mediana; com estrutura granulosa média e fina moderada; aderente ou pouco aderente, plástico ou pouco plástico; friável, pouco rijo; pH 6,0 a 8,0. Transição abrupta ou nítida para o Bg.

- Bg- 30 a 90 cm; cinzento muito escuro ou preto; franco-argiloso, por vezes argiloso; com estrutura prismática ou anisoforme angulosa

média moderada; aderente, plástico, friável ou firme, rijo ou muito rijo; pH 5,5 a 6,5. Transição gradual para o Cg.

-Cg - Material originário de natureza aluvionar ou coluvionar de constituição algo variável mas em geral de cor menos escura, de textura mais ligeira e de menor grau de estrutura do que o horizonte superior.

5.2.3 Solos Calcários

A textura destes solos é geralmente mediana ou pesada, sendo a percentagem de areia grossa quase sempre baixa, inferior a 25 %. Os carbonatos são abundantes em todo o perfil mas, evidentemente, atingem as maiores, por vezes enormes, percentagens no horizonte C. Esta abundância é, até certo ponto, desfavorável à cultura, principalmente no que respeita à conservação dum teor orgânico suficiente para a manutenção da sua fertilidade. A percentagem de matéria orgânica é baixa, raramente excedendo 2 % e sendo com frequência inferior a 1 %. A relação C/N é baixa ou mesmo muitíssimo baixa a indicar uma decomposição muito rápida por virtude de intensa actividade biológica. Nuns solos a quantidade de ferro livre é superior no horizonte superficial, talvez por virtude de uma alteração mais forte do que em profundidade; noutros dá-se o inverso, principalmente naqueles em que é menor a percentagem de carbonatos, parecendo indicar uma certa migração descendente deste elemento. (Cardoso,1965).

A capacidade de troca de catiões é, no geral, mediana; no Subgrupo dos Para-Barros é porém elevada, mostrando que as argilas são do grupo das montmorilonites. O cálcio é o catião nitidamente dominante, como seria de esperar. Com excepção do perfil de Pcs, o teor de magnésio de troca é relativamente baixo. O potássio apresenta também valores muito baixos, enquanto o sódio, em comparação com o potássio, atinge quase sempre teores muito elevados. Todos os solos deste agrupamento se encontram completamente saturados e têm uma reacção moderadamente alcalina.

Os elementos de índole física reunidos indicam que a expansibilidade é diminuta excepto no Subgrupo dos Para-Barros. A microestrutura é muito estável ou estável. A porosidade da terra fina é elevada e a permeabilidade varia, em geral, entre moderada e rápida nos horizontes superficiais; nos materiais originários, muito calcários, mostra-se, porém, inferior, de moderada a lenta. A capacidade de campo é sempre alta ou muito alta e os valores a pH 4,2 são frequentemente baixos. Daí resulta que a água disponível é elevada. O cálculo, da capacidade utilizável nos primeiros 50 cm de solo, entrando em linha de conta com a densidade aparente, conduziu a valores compreendidos entre 8 cm e cerca de 20 cm de água, os quais se podem considerar altos ou muito altos. Só os solos Pcd, por apresentarem diminuta espessura efectiva, possuem baixo teor de água utilizável pelas plantas. (Cardoso, 1965).

Os Pcd são solos com Horizonte Ap - 15 a 35 cm; pardo-acinzentado; franco-arenoso a franco-argiloso pouco ou medianamente calcário; de estrutura granulosa ou grumosa fina moderada; friável; efervescência viva ao HCl; pH 7,5 a 8,5. Transição abrupta para o Horizonte R - Calcário compacto. Na sua parte superior existe, por vezes, um horizonte Cca, endurecido ou não.

5.2.4 Solos Argiluvitados Pouco Insaturados

A textura dos horizontes superficiais é mediana; nos horizontes B a percentagem de argila aumenta imenso, às vezes para mais do dobro, imprimindo à curva de distribuição dessa fracção a forma característica dos Solos Argiluvitados. Sempre que os solos estão sujeitos à cultura agrícola o seu teor orgânico é baixo, enquanto que em zonas incultas se mostra elevado. Em qualquer dos casos decresce muito com a profundidade. A razão C/N é baixa ou mediana, indicando uma satisfatória ou mesmo rápida decomposição das substâncias orgânicas; mas é evidente a tendência para os valores característicos do "mull" florestal. As quantidades de ferro livre são apreciáveis em todos os horizontes; nem sempre demonstram uma migração descendente, como seria de

esperar em todos os casos. É evidente a descarbonatação completa ou quase dos solos deste Grupo. (Cardoso,1965).

A capacidade de troca catiónica é baixa a mediana, com raras excepções. A sua distribuição, acompanha a dos colóides (orgânicos e minerais). O catião dominante é o cálcio, cuja percentagem vai de 50% a mais de 90 % da capacidade de troca. O magnésio e o potássio apresentam valores medianos ou altos mas, às vezes, são nitidamente deficientes. O sódio de troca aparece em quantidades normais ou, nalguns casos, relativamente excessivas. O grau de saturação, característica de grande interesse taxonómico nesta Ordem, é muito elevado, variando entre cerca de 75 % e 100 %. O pH varia entre 5.0 e 7.5.

A expansibilidade é normalmente baixa, e a microestrutura tem estabilidade muito elevada. A capacidade de campo mostra valores altos, quase sempre superiores a 20 % de humidade. A capacidade utilizável dos primeiros 50 cm de solo varia de mediana a elevada, podendo, armazenar-se nessas camadas de 45 a mais de 100 mm de água disponível para as plantas. A porosidade da terra fina é mediana ou baixa e a permeabilidade parece ir de moderada a lenta, agravando-se sobretudo nos horizontes mais argilosos. (Cardoso,1965).

A reserva mineral destes solos, embora frequentemente pequena, é, por vezes, apreciável e constituída por feldspatos que se não diferenciaram. Na fracção pesada, cuja percentagem é quase sempre baixa, há apenas praticamente minerais muito estáveis. No perfil de Pv abunda o epidoto; tal facto é devido à composição da rocha-mãe que é um xisto metamórfico epidótico. Nos restantes perfis deverá ocorrer um grande predomínio dos minerais opacos.

As diferenças qualitativas e quantitativas dos minerais pesados nos vários horizontes de cada solo não indicam diferenças no material originário. A expansibilidade é muito baixa ou nula nestes solos.

No solo Pv as análises químicas demonstram o, carácter sialítico da fracção argilosa e a existência de minerais do grupo 2:1. A capacidade de troca catiónica,

é de cerca de 40 m.e./100g, sugerindo ser a illite o mineral predominante. A análise térmica diferencial mostra que há illite, possivelmente alguma caulinite de baixo grau de cristalinidade e vestígios de montmorilonóides, o que é confirmado pelo estudo por raios X de materiais doutros solos com comportamento térmico semelhante.

Os perfis de Vx estudados possuem illite possivelmente associada a "goethite". Assim o provaram a análise química, a capacidade de troca catiónica estimada, a análise térmica diferencial e a difracção por raios X (esta apenas de um deles). As relações $\text{Si O}_3/\text{R}_2 \text{ O}_3$ e $\text{Si O}_3/\text{Al}_2 \text{ O}_3$ indicam um carácter fersialítico ou ligeiramente ferralítico.

5.2.5 Litossolos

São solos morfologicamente muito simples e de fraca aptidão cultural. A textura destes solos é ligeira ou mediana, dependendo muito da natureza da rocha-mãe e do grau de meteorização atingido. Normalmente existe uma percentagem apreciável de elementos grosseiros. São quase sempre pobres em matéria orgânica, quer em percentagem quer em quantitativo por hectare, dada a sua diminuta espessura. A relação C/N é muito variável, mostrando diferentes tendências evolutivas dos perfis e diferentes intensidades da actividade biológica. Também a capacidade de troca catiónica se apresenta muito variável, influenciada pela textura, pelo teor orgânico e pela natureza dos colóides. O grau de saturação é geralmente elevado e a reacção é alcalina, no caso dos solos calcários, e neutra ou ligeiramente ácida nos restantes. (Cardoso, 1965).

Os Litossolos, apresentam nulo ou muito fraco desenvolvimento de perfil devido a recente exposição da rocha-mãe à acção dos processos de formação do solo ou, mais vulgarmente, por causa da acção da erosão acelerada que ocasiona a remoção do material de textura mais fina à medida que ele se vai formando. Neste caso existe um certo equilíbrio entre meteorização e erosão, equilíbrio que

se verifica a um nível de espessura do solo muito baixo. A desintegração física predomina sobre a alteração química, sendo por isso o solo grandemente constituído por fragmentos de rocha, grosseiros ou finos, não muito meteorizados. A alteração química limita-se a fraca formação de argila a partir dos minerais menos estáveis e, no caso dos solos derivados de rochas calcárias, a uma parcial e pequena dissolução de carbonatos. (Cardoso,1965).

5.2.6 Afloramentos Rochosos

Os afloramentos rochosos aparecem muitas vezes associados a muitos dos solos descritos. No caso dos Arc aparecem quase sempre associados formando o complexo Vcc+Arc, e é sem duvida o que predomina em todo o Anticlinal de Estremoz. os Arx surgem sozinhos, junto a Sousel.

5.3 Capacidade de Uso dos Solos

A capacidade de uso dos solos descritos para o Anticlinal de Estremoz, é bastante diversificada. Assim, apresentam-se as diferentes classes de capacidade de uso para os solos presentes:

Classe B - Fazem parte desta classe os coluviossolos (Sb), os solos hidromórficos (Ca), os solos calcários pardos (Pcd), os solos mediterrânicos pardos (Pm), e solos mediterrânicos vermelhos ou amarelos (Pv, Pvc, Vcc e Vcv). São solos com capacidade de uso elevada; com limitações moderadas (pequena profundidade do nível freático), com riscos de erosão moderados e de uso agrícola moderadamente intensivo. No caso dos solos mediterrânicos e calcários, a profundidade é mediana, a permeabilidade é moderada, e a capacidade de armazenamento para a água é razoável.

Classe C - Fazem parte desta classe os solos mediterrânicos pardos de material não calcário (Px), e os solos mediterrânicos vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários (Vx). São solos com capacidade de uso mediana; com limitações acentuadas; riscos de erosão elevadas e susceptíveis de utilização agrícola pouco intensiva.

Classe D - Fazem parte desta classe os litossolos (Ex) e os afloramentos rochosos (Arc, Arx). São solos com capacidade de uso muito baixa; com limitações muito severas; riscos de erosão, no máximo elevados; não é susceptível ao uso agrícola; as limitações para pastagens, exploração de matos e exploração floresta são de severas, a muito severas. No caso dos litossolos denota-se uma permeabilidade excessiva e uma capacidade de retenção da água baixa.

As classes descritas dividem-se em subclasses e estas correspondem a grupos de solos que apresentam o mesmo tipo de limitação dominante ou de riscos de deterioração. Assim, consideram-se as subclasses existentes para a área em estudo:

Subclasse s - Abrange os solos com fortes limitações na sua zona radicular (B, C)

Subclasse e - Abrange os solos com fortes limitações resultantes de erosão e escoamento superficial (D).

5.4 Uso dos Solos

A Carta Europeia da Água (1968) no seu ponto seis é explicita:

“a manutenção de uma cobertura vegetal adequada, de preferência florestal, é essencial para a conservação dos recursos de água. É necessário manter a

cobertura vegetal, de preferência florestal, e sempre que essa cobertura desapareça deve ser reconstituída o mais rapidamente possível. Salvar a floresta é um factor de grande importância para a estabilização das bacias de drenagem e do respectivo regime hidrológico. As florestas são, de resto, úteis não só pelo seu valor económico mas também como lugares de recreio”.

Assim, no Anticlinal de Estremoz observaram-se diversos tipos de usos do solo. As culturas mais significativas e dominantes são as **Culturas Arvenses**, apresentando-se em toda a extensão do Anticlinal (desde Alandroal até Sousel).

As culturas arvenses (cereais, proteaginosas, oleaginosas, etc.) constituem parcelas agrícolas contínuas, de terreno efectivamente cultivado com uma cultura arvense, ou deixado em pousio, e distribuem-se por duas superfícies de base - sequeiro e regadio. No entanto as culturas arvenses de regadio têm, apesar de tudo, expressão mais reduzida, embora muito mais significativa do que o habitual na região Alentejo. Caso particular é o Concelho de Sousel onde, só na região de Cano, o regadio pode atingir valores da ordem dos 2000 ha.

O Olival é uma cultura perene, que também tem grande expressão sobre os solos do Anticlinal. Observa-se essencialmente em Vila Viçosa, Arcos, Borba, S.ta Vitória do Ameixial, Estremoz e Sousel. Actualmente este tipo de cultura tem tido um considerável aumento.

O Montado de Sobre e/ou Azinho apresenta uma extensão considerável no Anticlinal, muito embora com tendência para redução devido à ocupação excessiva de eucaliptais.

Por fim, encontram-se os Pomares com expressão diminuta, merecendo no entanto referência as manchas de pereiras, macieiras e ameixieiras. Localizam-se essencialmente junto aos aglomerados populacionais, excepto uma mancha frutífera relativamente importante que começa a ter algum significado em Cano.

Já no que respeita à aplanção de Cano, como se disse, o uso predominante, além do olival e algum montado, é o regadio intensivo de culturas como o tomate e o milho.

Se a zona do A4 apresenta uma considerável homogeneidade natural associada a um gradiente de altitude pouco significativo, variando entre os 450 a 370 m e destes para os 225 na aplanção de Cano, o mesmo não se poderá dizer relativamente aos factores edáficos, que apresentam, segundo a cartografia analisada, potencialidades para um uso mais intensivo (Cupeto, 1991). O défice de gestão existente na água é comum ao solo. Não é difícil admitir que este défice se traduz, na prática, em prejuízo para o ecossistema natural e economia local.

5.5 Flora e Vegetação

De acordo com Albuquerque (1982), o Anticlinal de Estremoz insere-se na Zona Fitoclimática Ibero Mediterrânica, no andar basal (inferior a 400 m). A mesma zona tem como elementos característicos o Zambujeiro (*Olea europaea* var. *sylvestris*) e a Azinheira (*Quercus rotundifolia*).

A área de estudo situa-se no Piso Bioclimático Mesomediterrânico Seco a Sub Húmido Inferior (Rivas-Martinez, 1990) Figura 9.I.

Dentro do Piso Bioclimático, em função da precipitação distinguem-se diversos tipos de vegetação que correspondem de um modo geral a unidades Ombroclimáticas (Seco a Sub Húmido).

Biogeograficamente Costa et al, 1997, Figura 9.II, situam o Anticlinal no Reino Holártico, característico de um clima em que escasseiam as chuvas no Verão, pelo menos durante dois meses, podendo no entanto, haver excesso de água nas outras estações. Neste caso, desde que o clima não seja excessivamente

frio e seco, observam-se bosques e matagais de árvores e arbustos de folhas planas, pequenas, coriáceas e persistentes. A Província Luso Extremadurense é uma das maiores da Península Ibérica, e em Portugal evidencia-se pelos solos derivados de materiais siliciosos paleozóicos, sobretudo xistos e granitos apesar da ocorrência de calcários metamórficos (mármore).

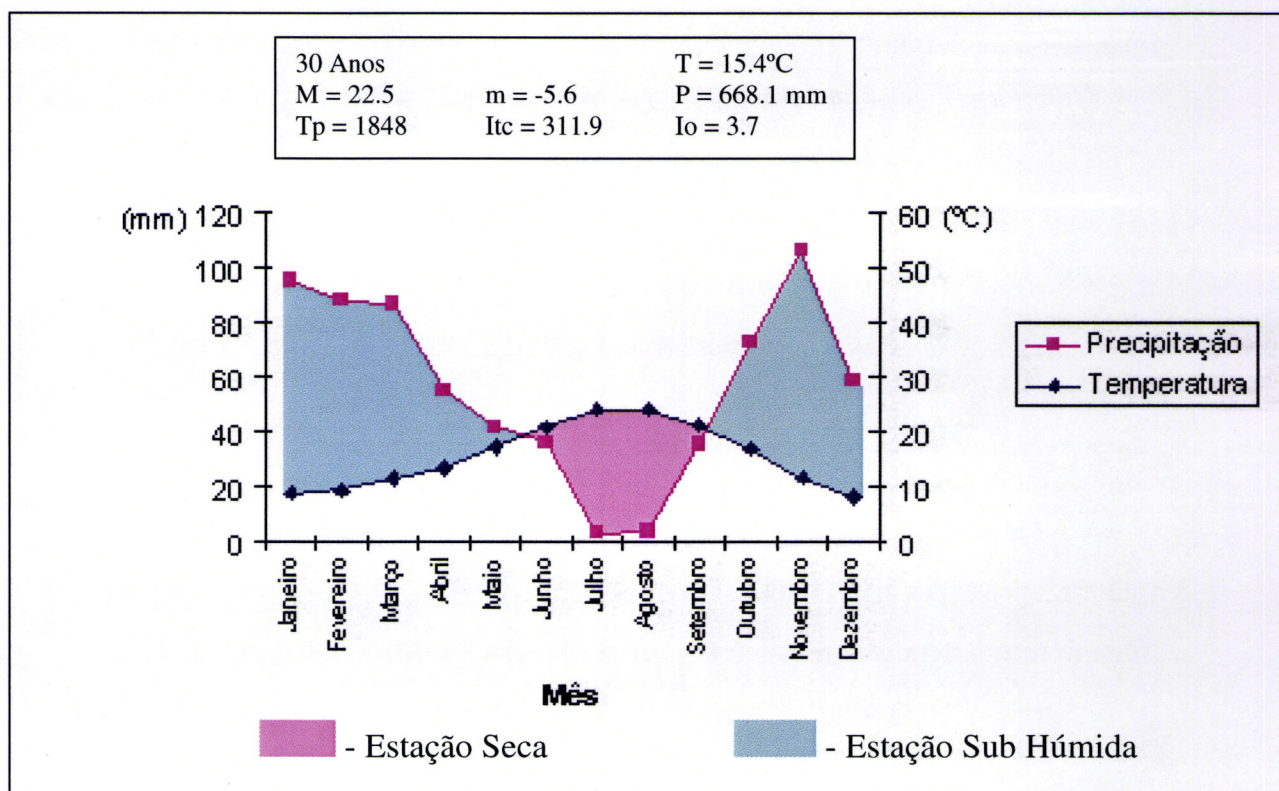
A esta Província pertence o Super Distrito Alto Alentejano, o mais extenso no território Português. Trata-se de uma área plana, interrompida por algumas serras de pequena altitude. Contudo, existe uma área importante de carbonatos metamórficos paleozóicos, onde o Anticlinal de Estremoz se enquadra.

Atendendo à distribuição dos principais ecossistemas vegetais e dos endemismos (Anexo – Elenco Florístico) reconhecem-se para a zona onde se insere o Anticlinal as seguintes séries climatófilas (Rivaz-Martinez , 1987):

- *Pyro bourgeanae* – *Querceto rotundifoliae*
- *Paeonio coriaceae* – *Querceto rotundifoliae*

A *Pyro bourgeanae* – *Querceto rotundifoliae* caracteriza-se pela presença de *Quercus rotundifolia*, *Quercus suber*, *Pyrus bourgaeana*, *Quercus faginea* e *Quercus coccifera*. Surge em territórios de ombroclima seco a sub húmido do piso bioclimático mesomediterrânico médio e superior. Trata-se de uma série silícola, Luso Extremadurense de azinheira (*Quercus rotundifolia*). (Lousã et al, 1997).

A *Paeonio coriaceae* – *Querceto rotundifoliae* caracteriza-se por ser Azinhal com árvores de óptimo calcícola, desenvolvendo-se numa parceria com o montado de sobro e com alguns pinheiros, condicionada por factores edáficos. As espécies típicas desta série de vegetação são: *Quercus rotundifolia*, *Quercus suber*, *Cytisus grandiflorius*, *Lavandula stoechas*, *Paeonia broteroi*, *Cistus crispus*, entre outros. Trata-se de uma série Mesomediterrânea Seco SubHumida, basófila, bética e mariánico-monchiquense da azinheira (*Quercus rotundifolia*). (Lousã et al, 1997)



Reino Holártico

Região Mediterrânea

Sub Região Mediterrânea Ocidental

Super Província Mediterrâneo – Ibero Atlântica

Província Luso Extremadurense

Sector Mariánico – Monchiquense

Sub Sector Araceno – Pacense

Super Distrito Alto Alentejano

Figura 9.II - Diagrama Ombrotérmico da Zona do Anticlinal de Estremoz.

Das espécies identificadas, 12 estão protegidas pela Directiva Habitats, sendo duas *vulneráveis* e uma *pouco comum*.

Esquema Sintaxonómico da zona em estudo:

QUERCETEA ILICIS Br. – Bl. 1947

Quercetalia ilicis Br. – Bl. Ex Molinier

1934 em. Rivas-Martínez 1987

Quercion broteroi Br. – Bl., P. Silva & Rozeira 1956 corr. Ladero 1974 em. Rivas-Martínez 1987

Paeonio – Quercenion rotundifoliae Rivaz-Martínez in Rivaz-Martinez, 1987

- *Pyro bourgaeanae-Quercetum rotundifoliae* Rivaz Martínez 1987
- *Paeonio coriaceae-Quercetum rotundifoliae* Rivaz-Martinez 1987

As Geoséries da zona em que o Anticlinal de Estremoz se insere, caracterizam-se por ripícolas termo mesomediterrânicas de meios lóticos com estiagem muito acentuada, silicícola, luso estremadurense (Lousã et *all*, 1997):

- *Scirpo-Phragmiteto australis* S.: (*Saliceto atrocinero-australis* S.): *Rubio-Nerieto oleandri* S.: *Pyro-Securinegeto tinctoriae* S.: *Pyro-Querceto rotundifoliae* S.

5.6 Fauna

A fauna herpetológica portuguesa apresenta grandes variações de detectabilidade ao longo do ciclo anual em resposta a variações sazonais nas taxas de actividade. Muitas espécies apresentam mesmo um período anual de hibernação ou de estivação. De um modo geral, os anfíbios apresentam maior actividade durante os meses de Inverno e Primavera (Crespo, 1987). Pelo contrário, os répteis apresentam maior actividade durante a Primavera e Verão (Crespo, *op. cit.*). No que respeita às espécies documentadas para a região do *Anticlinal de Estremoz*, **existem alguns endemismos** como: Tritão de ventre laranja (*Triturus boscai*), Sapo parteiro ibérico (*Alytes cisternasii*) e Rã de focinho pontiagudo (*Discoglossus galganoi*).

Todas as espécies de répteis estão inscritas nos anexos da Convenção de Berna, bem como os anfíbios. Inscritos na Directiva Habitats (Rufino, 1988 e SNPRCN, 1990), afectos a uma protecção rigorosa e interesse comunitário, encontram-se seis dos *Taxa* identificados para o local: Tritão marmorado

(*Triturus marmoratus*), Sapo corredor (*Bufo calamita*), Relã (*Hyla meridionalis*), Rã verde (*Rana perezi*), Sapo parteiro ibérico (endemismo) e Rã de focinho pontiagudo (endemismo). O número de espécies com estatuto especial de protecção é significativo e maioria delas fortemente dependente da água.

Relativamente aos mamíferos da região encontram-se dois com estatuto indeterminado em Portugal (Rufino, 1988 e SNPRCN, 1990) – Lontra (*Lutra lutra* – afecta à protecção da Directiva Habitats) e Toirão (*Mustela putorius*). Este último, é considerado cinegético sujeito a regulamentação bem com a Geneta (*Genetta genetta*), a Doninha (*Mustela nivalis*), a Fuínha (*Martes foina*) e o Texugo (*Meles meles*). Das espécies da Mamofauna ainda cinco espécies estão com estatuto cinegético: Coelho bravo (*Oryctogalus cuniculus*), Lebre (*Lepus capensis*), Sacarrabos (*Herpestes ichnemon*), Raposa (*Vulpes vulpes*), Javali (*Sus scrofa*).

De entre o elenco da Mamofauna também se realça a presença da Toupeira (*Talpa occidentalis*) considerada endemismo da Península Ibérica.

Por fim, na Avifauna encontram-se espécies de estatuto vulnerável (Rufino, 1988 e SNPRCN, 1990) – Cegonha branca (*Ciconia ciconia*), Rola comum (*Streptopelia turtur*) e o Corvo (*Corvus corax*); de estatuto indeterminado – Galinhola (*Scolopax rusticola*), Pombo bravo (*Columba oenas*), Cuco rabilongo (*Clamator glandarius*); e com estatuto raro – Bufo real (*Bufo bufo*). As espécies avifaunísticas com estatuto cinegético encontradas na região são: Pato real (*Anas platyrhynchos*), Galinha d'água (*Gallinula chloropus*), Perdiz comum (*Alectoris rufa*), Codorniz (*Coturnix coturnix*), Tarambola dourada (*Pluvialis apricaria*), Abibe (*Vanellus vanellus*), Galinhola (*Scolopax rusticola*), Pombo bravo (*Columba palumbus*), Rola comum (*Streptopelia turtur*), Tordo zornal (*Turdus pilaris*), Melro (*Turdus merula*), Tordo musical (*Turdus philomelos*), Tordo asa ruiva (*Turdus iliacus*), Tordoveia (*Turdus viscivorus*), Gaio comum (*Garrulus glandarius*), Pega rabuda (*Pica pica*), Gralha preta (*Corvus corone*), Estorninho malhado (*Sturnus vulgaris*) e Estorninho preto (*Sturnus unicolor*).

É de salientar que a maioria das espécies estão contempladas na convenção de Berna e na Directiva Habitats.

6. A vantagem da bioclimatologia

A variação espacial do clima revela gradientes horizontais e verticais que se manifestam em distintas escalas. Enquanto isso, a tradicional *macroclimatologia* reserva-se para os valores médios dos elementos do clima e das suas flutuações regulares, que caracterizam o estado da camada inferior da atmosfera, com independência das influências da topografia, do solo, da vegetação, e porque não, da própria hidrogeologia; no caso em estudo, certamente.

Na primeira metade do Séc. XVIII Stephen Hales realiza as primeiras experiências quantitativas que estabelecem a natureza dos fluxos de água nas plantas, relacionando a absorção radicular e a transpiração com a precipitação, sugerindo que a luz e o ar intervêm também na nutrição vegetal (Rivas-Martinez, 1987). É a partir daqui que há uma certa concepção das plantas como instrumentos meteorológicos. Assim, a bioclimatologia trata do ajuste entre o continente climático e o conteúdo biológico.

Mais do que a classificação climática assente em grandes índices entende-se que para um trabalho da natureza da presente Tese tem muito mais interesse compreender a inter-relação entre os diferentes factores biofísicos do que nos ficarmos pelos grandes índices macroclimáticos.

Por analogia, pergunte-se um Presidente da Câmara de que lhe serve o PBH do Rio Tejo quando tem que tomar determinadas decisões ao nível do abastecimento local às populações? A resposta será, provavelmente, muito pouco ou nada. Em matéria de clima a questão pode ser a mesma: que importam os grandes índices macroclimáticos para um trabalho à escala local?

Todavia, uma questão, legítima, pode ocorrer nesta altura: e o que tem a ciência que estuda a água na rocha, a hidrogeologia, a ver com esta relação transversal entre factores biofísicos, a dita bioclimatologia?

Muito provavelmente a resposta cabal e totalmente satisfatória não ficará explícita nesta Tese. Acredita-se convictamente que este tema seria por si só um trabalho merecedor de um aprofundamento que sai fora do presente objectivo.

Apesar disso, supõe-se que a formulação de algumas questões tornará evidente a importância da hidrogeologia na matéria e vice – versa:

i. porque razão a lontra (*Lutra lutra*) encontra excelentes condições de vida nas “ribeiras de Borba”?

A primeira e mais importante resposta só pode ser uma: porque estas ribeiras são perenes, devido à descarga hidrogeológica que recebem. Segundo Bernardo e Alves (1999) a riqueza/complexidade faunística, e designadamente ictiofaunística, depende, nesta perspectiva, essencialmente da (i) disponibilidade de água durante o período seco, (ii) distância entre pegos, (iii) obstáculos a transpor, e (iv) caudal no outono/inverno. Em qualquer destas quatro condições a efluência hidrogeológica nos cursos de água aparece, sem dúvida, em primeiro lugar.

ii. porque é muito comum o freixo (*Fraxinus angustifolia*) nas galerias ripícolas do “anticlinal de Estremoz”?

A resposta é basicamente a mesma.

Isto é, parece que o conhecimento hidrogeológico pode, e deve, ser considerado, com óbvias vantagens, na integração do conhecimento biofísico de uma região.

E, já agora, o que dizer de matéria tão importante e actual como os “caudais ecológicos”? Naturalmente que este importante tema, só por si, evidencia a importância do conhecimento hidrogeológico. Quantas vezes experimentados

modelos, aplicados no estudo para dimensionamento de importantes obras, ficam comprometidos pelo ignorar as efluências subterrâneas nas linhas de água?

Todavia, além do próprio "caudal ecológico" é necessário introduzir o conceito de "regime ecológico", em substituição do qual, não só se contemplam determinados valores de caudal (mínimos), mas também a sequência com que se produzem; a sua variação ao longo do ano sincronizada com os regimes estacionários de outras variáveis que afectam a fauna aquática e a temperatura do ar; a duração de período de mínimos e o déficit hídrico aceitável pela comunidade biológica, etc. E por fim, com grande importância na zona de estudo, em particular na ZM, introduzir a magnitude, duração e periodicidade das cheias necessárias para limpar o leito do excesso de macrófitas, sedimentação e partículas finas, ou para a inundação das ribeiras e germinação de determinadas sementes. Como se torna óbvio esta matéria é da maior importância, não só na gestão do próprio A4, como na solução de alguns problemas locais como sejam as inundações de estradas e urbanas devido ao extravasar das linhas de água e canais devido à colmatação por finos e plantas.

III. HIDROGEOLOGIA

1. Introdução

A utilização de água subterrânea aumentou de forma espectacular em quase todo o mundo desde meados do século passado. Para este facto contribuíram essencialmente três razões:

- i. invento e comercialização da bomba de turbina;
- ii. avanço e diminuição do custo das técnicas de perfuração;
- iii. desenvolvimento da ciência hidrogeológica.

(Llamas et al., 2001).

Há ainda uma quarta razão que levou ao “avanço e diminuição do custo das técnicas de perfuração”, que, tradicionalmente, é apontada como grande contributo para o avanço da ciência hidrogeológica: o grande desenvolvimento da indústria do petróleo.

O “desenvolvimento da ciência hidrogeológica” permite conhecer bastante bem se uma formação geológica (i) contém água, (ii) em que quantidade, (iii) como se renova e (iv) qual a sua qualidade? A resposta a estas quatro questões fundamentais é o objecto da hidrogeologia.

Alguns factos históricos marcam, decididamente, a situação nacional e mundial no que respeita aos recursos subterrâneos. Como se constata o uso prático das águas subterrâneas foi quase sempre muito mais avançado que o conhecimento, planificação e controlo deste recurso por parte da Administração. No A4 também assim é. Aqui, ou noutro qualquer sistema aquífero, é o número, a localização e a produtividade das captações, ou mesmo o número e localização

dos insucessos, que desde logo, antecipadamente, pode dar informação de apoio ao “planeamento” e gestão da água subterrânea. Esta realidade resulta, segundo Llamas et al. (2001), de dois aspectos fundamentais e que, sobre os quais vale a pena reflectir:

- i. os decisores estão mais familiarizados, quase sem excepção, com o projecto e gestão de empreendimentos hidráulicos de águas superficiais;
- ii. o aproveitamento de águas subterrâneas foi essencialmente realizado e implementado por particulares – agricultores, pequenas indústrias, pequenas autarquias, etc.

É esta realidade que levam os mesmos autores a considerar que o uso, com sucesso, da água subterrânea se fez, e se faz, *por contágio*, e não como consequência de planos hidrológicos ou de rega configurados com base no conhecimento hidrogeológico, em opções estratégicas e muito menos nos benefícios da gestão conjunta água subterrânea – água superficial.

Será igualmente por esta razão fundamental que em Portugal, como na generalidade dos países, a água subterrânea é um bem privado e a superficial um bem público, com tudo o que este facto traduz e implica.

Provavelmente será também esta omissão histórica que conduz à ideia da água subterrânea como um recurso frágil e pouco fiável. Esta ideia errada, por desconhecimento, ou por a existência de interesses particulares, manifesta na sociedade uma atitude sobre as águas subterrâneas que nada tem a ver com a realidade, conduzindo, assim, a procedimentos e soluções erradas do ponto de vista ecológico e socio-económico (Llamas *et al.*, 2001).

As águas subterrâneas em Portugal têm sido sempre encaradas numa óptica de *solução provisória* enquanto não chega a *grande solução* que são(?) as barragens (Martins Carvalho, 1990).

O caso de estudo, o A4, constitui um excelente exemplo do que em cima se afirma. Neste caso, como nos outros, não é só no sistema aquífero que se repercutem políticas e decisões erradas, ou a ausência delas, como “a água é só uma” as consequências chegam rapidamente às águas superficiais (Cupeto, 2001). Em Portugal não há razões para que assim continue a ser, há conhecimentos e técnicos capazes de apoiar e sustentar uma melhoria qualitativa, às vezes local, como é o caso, da gestão integral do ciclo da água. Assim, não só, seria possível satisfazer melhor as necessidades de água, de forma mais sustentável, como o seria feito com grande economia de custos.

1.1 Sistemas Aquíferos de Portugal Continental

Os designados *hidromitos* (Llamas *et al.* 2001) levam a que o comum dos decisores (não faz sentido falar em cidadão, tal é a distância, em Portugal, a que este se encontra de questões tão importantes como a “água”) não saiba (nem o creia como mera ficção), que a grande fatia de utilização da água em Portugal, para as diferentes utilizações, tenha origem subterrânea. Infinitos trabalhos, levantamentos e estudos, de outros tantos autores, apontam para números que convergem para a ordem dos 62% de consumo de águas subterrâneas relativamente ao total. A discussão, fundamentada, deste número e tudo o que lhe está associado dará, certamente, só por si, para uma tese que tornaria óbvios alguns absurdos e conclusões provavelmente incomodativas. Olhando para o panorama internacional, designadamente o Europeu, verifica-se que neste sector Portugal não está sozinho, os *hidromitos* sobre águas subterrâneas, associados ao seu “esquecimento” são registados em várias latitudes.

No entanto é curioso notar que países mais a Norte como a Bélgica, Alemanha, Finlândia, Holanda, Luxemburgo, Ex-Checoslovaquia, apesar das muito maiores disponibilidades de recursos superficiais, utilizam no abastecimento urbano essencialmente águas subterrâneas (Lopez Geta, 1997). Algo de incongruente parece traduzir esta realidade. Porque será assim? O

mesmo autor, reduz a questão a dois factos: qualidade e custos. Provavelmente vão ser estas as mesmas razões que nos vão fazer arrear caminho nalgumas opções em matéria de política e gestão da água em Portugal.

Todavia, a partir da segunda metade da década de 90 em Portugal, sobretudo através do INAG em parceria com várias instituições, fez-se um assinalável esforço no conhecimento, sistematização e codificação dos Sistemas Aquíferos, tivemos a oportunidade de participar activamente, a vários níveis, nesses trabalhos.

Por Sistema Aquífero (SA) entende-se “um domínio espacial, limitado em superfície e em profundidade, no qual existe um ou vários aquíferos, relacionados ou não entre si, mas que constitui uma unidade prática para a investigação ou exploração (Navarro *et al.*, 1989). Um aquífero é uma unidade geológica que contém água e que a pode ceder em quantidades economicamente aproveitáveis" (Almeida *et al.* 2000).

Os Sistemas Aquíferos foram cartografados estudados e sistematizados e estão codificados segundo a Unidade Hidrogeológica em que se inserem. No designado Maciço Antigo (A) o Sistema Aquífero Estremoz – Cano (A4) é provavelmente o mais importante. Este estatuto, resulta, não só da natural e relativa pobreza hidrogeológica desta grande Unidade (Maciço Antigo), mas sobretudo das potencialidades e importância sócio-económica, ecológica e hidrogeológica do A4.

1.2 Movimento da água na rocha

O comportamento dinâmico da água nas rochas obedece a um conjunto complexo de factores. Se considerarmos que no A4 estamos na presença de um sistema aquífero, cársico fissurado, de rochas antigas, com um sector como o de Cano mais próximo de um comportamento poroso, então essa complexidade assume particular, e esperada, maior dimensão. Talvez pela complexidade,

reconhecida, do padrão de fracturação presente, e, muito provavelmente, pela sua importância na viabilidade económica da extracção de rochas ornamentais, muitos autores, designadamente estruturalistas, têm, ao longo dos tempos, dedicado a sua atenção ao anticlinal de Estremoz.

Também neste importante conhecimento de base para compreender o sistema aquífero, o A4 tem uma boa quantidade e qualidade de informação. Em particular no decorrer do ERHSA, a Universidade de Évora, através do seu Polo em Estremoz, teve a oportunidade de estudar o modelo de fracturação e a sua conectividade na perspectiva da sua influência e importância no movimento da água. Trata-se de um trabalho, com grande relevância para o tema da água no anticlinal, que julgamos ainda não totalmente aproveitado e explorado.

Assim, para se compreender a influência da estrutura do anticlinal de Estremoz na circulação de água no A4, é necessário ter em consideração uma complexa evolução geodinâmica que afectou esta região desde a fase de sedimentação até à actualidade, considerando as deformações varisca e alpina (Dias, *et al.* 1999).

De facto, os mesmos autores, com razão, desde logo afirmam que as “anisotropias primárias geradas durante a fase de sedimentação são, sem dúvida, um dos principais factores a ter em conta para uma melhor compreensão da circulação de água nas formações carbonatadas do anticlinal de Estremoz. Com efeito, é nesta fase que são gerados os planos de estratificação subhorizontais separando litologias que, ao sofrerem a acção da diagénese e posterior metamorfismo durante a orogenia varisca, irão originar rochas fortemente contrastantes no que diz respeito às suas propriedades mecânicas”. São estas características que mais tarde vão condicionar o modelo de fracturação, mais frágil ou dúctil, e o seu desenvolvimento como condicionante de primeira ordem do comportamento da água no A4.

Associados às duas referidas orogenias, sucederam-se, e sobrepuseram-se, um conjunto de complexos episódios tectónicos que têm como resultado final o que hoje esta estrutura em anticlinal mostra.

Assim, em síntese, e no que respeita à sua importância para a circulação da água, as principais características tectónico – estruturais são (Dias, *et al.* 1999):

- i. existência de um conjunto importante de superfícies de descontinuidade com direcção aproximada NNW-SSE a NW-SE, com mergulho cerca de 70° para SW no flanco longo e cerca de 90° no flanco curto do anticlinal;
- ii. as fracturas NNW-SSE a NW-SE correspondem à clivagem associada ao dobramento e formação do anticlinal, tendo por isso grande penetratividade;
- iii. terminações periclinais do anticlinal de Estremoz bastante fracturadas e com elevada conectividade;
- iv. importante sistema de fracturas subhorizontais;
- v. fracturas NE-SW a ENE-WSW, frequentemente intruídas por diques doleríticos de comportamento hidrogeológico tipo “barreira negativa”;
- vi. o bandado metamórfico e as fracturas NE-SW que justificaram a dolomitização secundária e hoje a circulação de água;
- vii. estratificação associada ao metamorfismo – localmente conhecida por currume;
- viii. conectividade entre falhas, na ordem dos 50% no sector norte e de 70% a sul (valores que os autores admitem estarem subestimados);
- ix. dolomitização com efeito de descompressão da rocha resultante numa perda de volume que se traduz na existência de inúmeras cavidades e fracturas abertas;
- x. marcado protagonismo da “dimensão” das falhas no efeito “conectividade”;
- xi. no que respeita à conectividade:

- grande homogeneidade dos valores obtidos para as dolomias secundárias que contrasta com a forte dispersão dos valores estimados para os mármore;

- as conectividades calculadas para as dolomias secundárias são sempre superiores aos valores de conectividade obtidos para os mármore;

- embora não seja o único factor condicionante, a densidade da fracturação tem uma influência directa na conectividade – quando a densidade aumenta a conectividade também tende a aumentar;

- a existência de mais do que uma família de fracturas tende também a aumentar a conectividade;

- a existência de fracturas longas tende a aumentar a conectividade pois torna-se mais provável a ocorrência de intersecções;

xii. as fracturas NW-SE e NE-SW identificadas à superfície apresentam uma conectividade bastante elevada.

Neste contexto geológico, sem dúvida, muitas das hipóteses do modelo hidrogeológico conceptualizado são confirmadas por este conjunto de conclusões.

1.3 Caracterização Hidrogeológica Sumária

Pela descrição da geologia e estrutura das formações litológicas que compõem o Sistema Aquífero sabemos, desde logo, que estamos na presença de um sistema aquífero cársico, fissurado, tão complexo como qualquer outro desta natureza. Todavia o A4 assume ainda maior complexidade, natural e induzida, designadamente porque:

- i. o referido carso assenta em várias rochas de natureza carbonatada diversa, mais ou menos calcárias, dolomitizadas e metamorfizadas;
- ii. tratam-se de rochas antigas (paleozóicas) e por isso com muitos episódios geológicos que se traduzem na heterogeneidade geológica e logo do aquífero;
- iii. existe uma grande fragmentação (fracturas, filões com comportamento de barreira negativa) e sectorização natural;
- iv. existe uma grande interferência antrópica no sistema hídrico:
 - quantitativa/dinâmica na Zona dos Mármore;
 - qualitativa um pouco por todo o aquífero mas sobretudo, contaminação agrícola, na zona de Cano/Sousel;
- v. existe marcada diferenciação entre o sector de Cano – rochas calcárias recentes com comportamento poroso – e as rochas paleozóicas do anticlinal de Estremoz.

Nestas condições distinguem-se, *a priori*, dois aquíferos, os calcários quaternários de Cano e os calcários metamorfizados paleozóicos do anticlinal de Estremoz.

A bacia endorreica de Cano, que hoje constitui este sector do A4, tem um comportamento bastante homogéneo, embora com áreas nitidamente mais produtivas, chega nalguns casos a atingir espessuras da ordem dos 25-30 m (Cupeto, 1991). Este dado foi por nós confirmado em sondagens acompanhadas no final da década de 80 e início dos anos 90, aquando da realização dos trabalhos conducentes à Dissertação de Mestrado. Sem nunca ter sido confirmado directamente, assume-se, com significativa segurança, que existe conectividade hidráulica entre os calcários antigos do anticlinal e os recentes de Cano. Esta, muito provável, hipótese fundamenta-se em razões de natureza geológica e hídrica, a saber:

- i. como confirmou Dias *et al.* (1999) as terminações periclinais do anticlinal de Estremoz são bastante fracturadas e com elevada conectividade;
- ii. esta fracturação e conectividade prolonga-se parcialmente no contacto com as rochas envolventes, o sentido do fluxo assim o mostra;
- iii. a génese lacustre, em bacia endorreica, provavelmente em clima tropical, dos calcários de Cano (Cupeto, 1991), evidenciam uma “conectividade” antiga, digamos que primária, entre as rochas antigas e recentes ;
- iv. prolongamento do modelo de fracturação além do fecho do anticlinal, designadamente a Norte (Dias *et al.* 1999) – provavelmente é este facto que justifica a formação dos calcários lacustres de Cano, recentes, a partir dos antigos;
- v. as reservas hídricas de Cano, e os recursos disponíveis nesta zona, vão muito além do esperado para a dimensão e volume da mancha de calcários lacustres hoje existente;
- vi. alguma da diferença do perfil químico das águas dos dois aquíferos é contrariada nalguns pontos com uma grande semelhança entre a composição das duas águas – este dado é reforçado pela maior produtividade dos pontos de água onde isto se verifica, o que se justifica pela alimentação a partir do aquífero das rochas antigas (Cupeto, 1991).

No que respeita ao anticlinal a sectorização hidrogeológica é grande. A Norte de Estremoz – bacia hidrográfica do Rio Tejo - o principal fluxo faz-se neste sentido, com alguma continuidade e uniformidade. Este mesmo sentido de escoamento prossegue nos calcários de Cano. Em todo o anticlinal, e também

neste sector Norte, pode afirmar-se que há fluxos laterais, sobretudo para SW, a acompanhar a fracturação e os já referidos filões. Estes fluxos originam nascentes, mais ou menos importantes ao longo, essencialmente, do bordo Sul, precisamente no encosto das rochas paleozóicas permeáveis com a peneplanície envolvente impermeável de xistos do Silúrico. É ainda neste sector Norte do Anticlinal, “melhor conservado” que é possível observar pedagógicas estruturas cársicas como a bacia de infiltração endorreica na designada Serra de Sousel junto ao Monte de S. Miguel, Figura 1.III.

A Sul de Estremoz – bacia hidrográfica do Rio Guadiana – hidrogeologicamente, e não só, tudo se passa de forma mais sectorizada e fragmentada. Os fluxos são mais locais e divergentes, fortemente condicionados pela interferência das cavas da actividade extractiva de mármore. A afectação do nível piezométrico e dos fluxos naturais constituem o principal constrangimento ambiental decorrente desta importante actividade económica (Cupeto, 1991 & Cupeto *et al.* 1991a, b), Figura 2.III. Esta sectorização, natural e induzida, leva a que ocorram ainda, localmente, alguns pequenos aquíferos suspensos. Aqui, neste contexto, o termo “isolado”, provavelmente, tem uma aplicação mais correcta que o tradicional “suspense”.

Em síntese, a formação geológica de Estremoz sustenta um aquífero do tipo cársico fissurado, enquanto que a formação geológica de Cano configura um aquífero cujo comportamento é poroso livre.

Na zona de Cano, a estrutura geológica e a origem lacustre dos calcários parecem indicar, juntamente com outros factores, conforme já se referiu, a existência de dois aquíferos: um superior, associado aos calcários do Cano (Plistocénico), localizado na zona Cano-Casa Branca, e outro inferior que se estende por baixo da bacia lacustre (Cupeto, 1991), semiconfinado e cársico, associado às formações dolomíticas e carbonatadas de Estremoz (Paleozóico).



Figura 1.III - Da Pousada de S. Miguel, na Serra com o mesmo nome em Sousel, é possível observar uma extensa bacia endorreica que constitui, por excelência, a Norte a área de recarga do A4.



Figura 2.III - Em Estremoz e a sul desta cidade, na ZM, esta é a paisagem mais comum. Entre outras consequências o ciclo natural da água é fortemente afectado.

Assim sendo, definem-se dois tipos aquíferos com comportamentos hidrogeológicos distintos.

Os calcários lacustres apresentam uma permeabilidade aproximadamente intersticial, enquanto que no anticlinal propriamente dito, a permeabilidade dominante encontra-se associada a fissuras e aos fenómenos de carsificação.

O sistema aquífero cársico (com uma grande importância no contexto regional e mesmo supra-regional, atendendo à predominância de rochas xistentas, e afins, nas regiões envolventes) caracteriza-se pela existência de uma multiplicidade de fracturas que podemos classificar num de dois sistemas que condicionam a circulação subterrânea; um correspondente a grandes aberturas cársicas e outro constituído por uma rede de microfracturas, normalmente dependentes das primeiras e, como se viu, com grandes taxas de conexão. Além deste modelo de fracturação, estudado e referido, há outras ocorrências geológicas que interferem bastante na circulação da água no aquífero, designadamente, pela sua importância, o já também referido significativo corpo de filões de natureza básica. A alteração destes filões tende a aprofundar a sua característica de baixa permeabilidade constituindo-se assim como barreiras negativas que sectorizam muito, sobretudo a Sul de Estremoz, a circulação da água no aquífero.

No que respeita ao perfil químico destas águas, como seria expectável, estamos em presença de águas duras, bicarbonatadas cálcicas, às vezes calcomagnesianas. Nota-se ainda que as águas captadas nos calcários de Cano são mais mineralizadas que as do Anticlinal, mais magnesianas. Segundo os dados químicos mais antigos (Cupeto, 1991 & Cupeto *et al.* 1991b) as águas afectas aos calcários de Cano apresentam uma sobresaturação mais elevada em calcite do que as associadas ao anticlinal. As análises químicas mais recentes não vieram a confirmar esta tendência e mostram uma menor distinção entre as águas associadas às rochas antigas e as que estão associadas aos calcários de Cano. A justificação mais provável para este facto assenta nos maiores consumos e extracções que hoje se verificam e que conduzem a um menor tempo de estadia

da água de Cano e, bem assim, a uma menor fracção desta água no todo onde os recursos do maciço antigo são bem mais expressivos.

1.4 Pontos de água

Qualquer trabalho de natureza hidrológica assenta na informação recolhida em locais previamente seleccionados. É nestes locais que se tomam amostras, ou fazem observações, que se desejam o mais representativas possível do sistema hídrico – massa de água (rio, lago, albufeira, aquífero, estuário, praia, etc.) em estudo. Assim, a qualidade dos dados depende, em grande medida, da qualidade dos locais escolhidos para observação, medida ou tomada de amostras.

Ao conjunto dos pontos de observação hidrológica é comum chamar-se "pontos de água". Os pontos de água, possibilitam obter e reconhecer os dados base sobre as características hidrogeológicas e os factores de fluxo das águas subterrâneas (Castany, 1975). Uma das características - qualidade - essencial do ponto de água é a representatividade desse ponto relativamente ao todo, ou parte deste.

Santos Oliveira (2003) refere esta matéria com grande importância e destaque, “em todos os casos, devem, em relação aos dados serem avaliadas, com o possível rigor, as seguintes características:

- i. precisão, ou seja, a variabilidade dos valores dos dados obtidos para cada categoria dos valores colectados, recorrendo, por exemplo, à respectiva variância;
- ii. cobertura do universo dos dados, ou seja, a percentagem dos locais nos quais foram recolhidas informações elementares, em relação ao número total de dados possíveis para cada uma das categorias consideradas, em relação a cada uma das operações unitárias;

iii. representatividade, ou seja, a avaliação qualitativa da medição efectuada, em relação à população real representativa desse parâmetro (tomando em conta a distribuição geográfica, o período coberto e a tecnologia considerada);

iv. coerência, ou seja, a avaliação qualitativa do grau de uniformidade da metodologia do estudo efectuada, na sua aplicação às diferentes componentes que nele podem ser consideradas;

v. reprodutibilidade, ou seja, a avaliação qualitativa da capacidade que um observador independente teria de obter resultados similares significativos, ao tentar reproduzir essas determinações.”

Assim, as técnicas de estudo quantitativo ou qualitativo das águas subterrâneas, baseiam-se, na maioria das vezes, em simplificações ou em generalizações que nos podem induzir em erros significativos se não houver exigência nas medições e recolha de amostras (Lledo *et al.*, 1988). Sem dúvida que o uso de instrumentação e a aplicação de técnicas de medição e amostragem parte do facto de o observado ser representativo do fenómeno objecto da observação. Um ponto de água bem seleccionado, uma amostra bem recolhida, correctamente conservada e adequadamente analisada representa a situação particular do ponto amostrado. O grau de conexão e de representatividade desse ponto de água com o meio determina, finalmente, qual a qualidade e o valor do dado obtido.

No caso do Sistema Aquífero A4 tudo o que foi dito assume ainda maior relevância porque se trata de um sistema aquífero:

- i. de características cársticas;
- ii. com grande heterogeneidade espacial – muito sectorizado;
- iii. com significativas intervenções (alterações) antrópicas – actividade extractiva.

Assim a importância ou mérito da rede de pontos água num aquífero como o A4 é grande e é fundamental para o seu conhecimento - em variados trabalhos anteriores esta matéria foi por nós bastante tratada (Cupeto & Lopes, 1997; Lopes *et. al.* 1998; Lopes *et. al.* 1999; Lopes *et. al.* 2000; Ribeiro *et. al.* 1999), sendo vital para a boa gestão da água, designadamente no que respeita:

- i. ao bom conhecimento espaço-temporal dos níveis piezométricos e da qualidade da água subterrânea;
- ii. ao apoio do planeamento e da gestão dos recursos hídricos;
- iii. à resposta das obrigações legais, publicas ou privadas, nacionais e comunitárias.

Considerando tudo o que em cima se disse pode-se afirmar que todo o “passado histórico hidrogeológico” de estudo do A4 se traduziu numa impar e rigorosa aplicação e experimentação das boas regras e práticas citadas.

1.5 Instrumentação

Com o objectivo de melhorar substancialmente o conhecimento das variáveis climáticas, nomeadamente o regime de precipitação, sobre a área correspondente ao Sistema Aquífero, o Instituto da Água, no final dos anos 90, instalou três udómetros de registo automático de dados nos locais indicados na Figura 3.III. Estes udómetros, estão a efectuar registos horários, podendo o intervalo de tempo ser modificado.

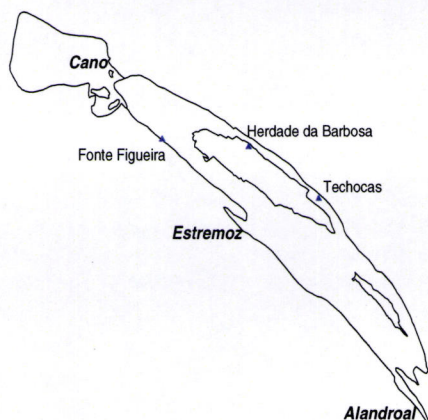


Figura 3.III - Localização de udómetros de registo automático (INAG 1998).

1.6 Caracterização da informação e inventário de pontos de água

Os pontos de água sobre o qual assentam as diferentes abordagens ao A4 têm, por parte do autor, cerca de uma quinzena de anos de trabalho sistemático e regular.

Todavia, desde 1983 com IGM, então SGP, que se iniciaram os trabalhos de inventário hidrogeológico no A4. Anteriormente também a FCUL desenvolveu algum trabalho hidrogeológico nos aquíferos carbonatados do Alentejo e, conseqüentemente, no A4. O número de pontos inventariados resulta do somatório da informação de várias origens:

- i. inventário em 1989 por nós realizado, com exaustivo trabalho de campo e consulta aos arquivos de várias entidades;
- ii. trabalho de campo durante o Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Alentejo;
- iii. consulta de relatórios (INAG, IGM, Direcção Regional do Ambiente e Direcção Regional de Agricultura do Alentejo e, Câmaras Municipais).

Numa primeira fase, foi ainda fundamental a colaboração do Dr. Pais Quina e Dr. Simões Duarte hidrogeólogos da Divisão de Recursos Subterrâneos do INAG com larga experiência de trabalho no sistema aquífero em estudo e a quem se deve uma justa referência. Na Tabela 1.III sintetizam-se os pontos de água inventariados.

De um total de 410 pontos de água inventariados, 85% são particulares, sendo os restantes: nascentes camarárias, furos ou poços destinados a abastecimento público, piezómetros do IGM ou do INAG, Figura 4.III.

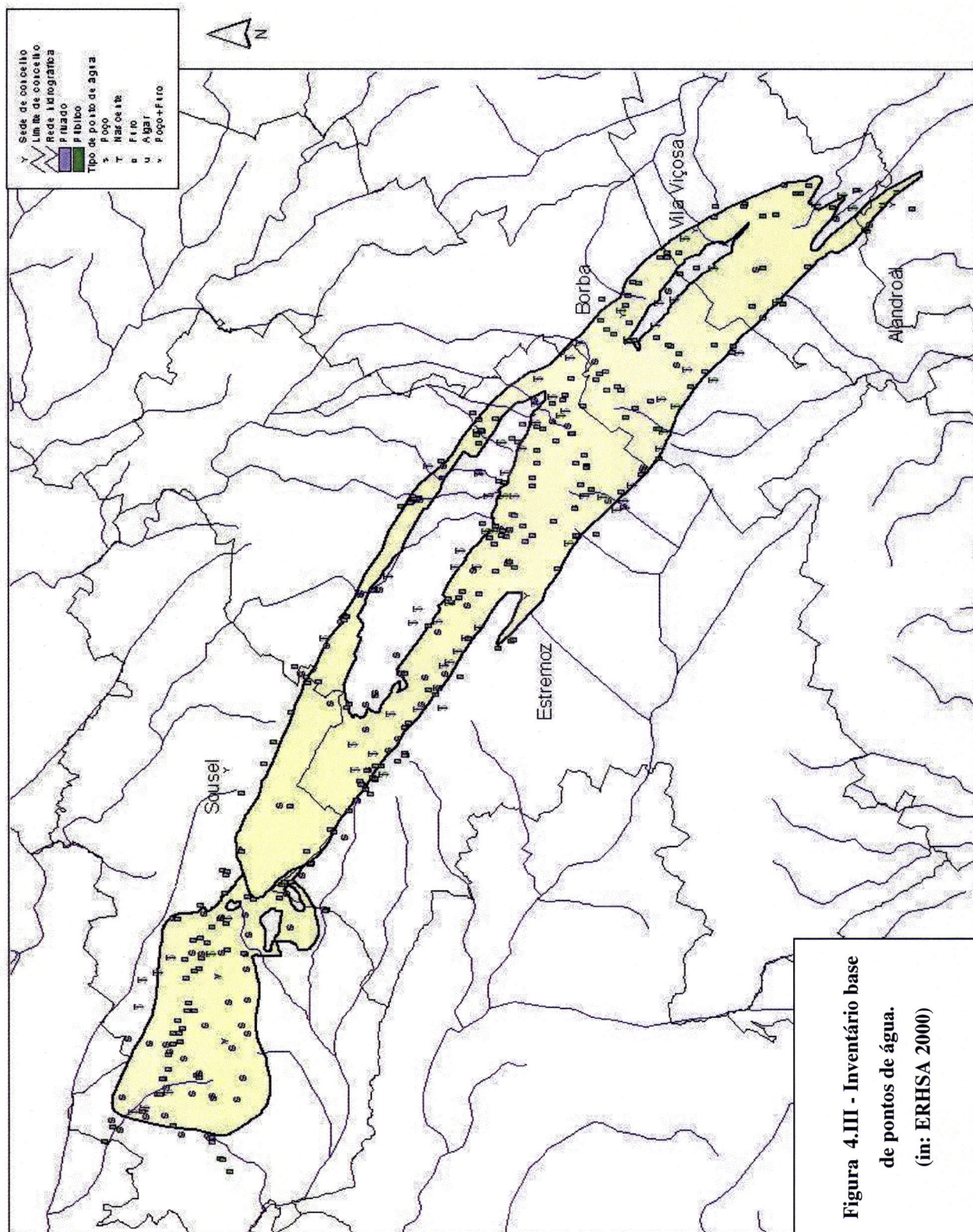
Tabela 1.III - Distribuição dos pontos inventariados por tipo de ponto de água

Tipo de ponto de água	Nº de Pontos	%
Poço	93	23%
Nascente	79	19%
Furo	234	57%
Algar	2	0,5%
Poço+Furo	2	0,5%
Total	410	

A qualidade da informação disponível sobre litologias interessadas pelas captações, caudais de exploração, níveis aquíferos captados e, outras características intrínsecas às captações são bastante deficientes, reflectindo a falta de aplicação de boas práticas e da regulamentação existente, nomeadamente as referentes ao licenciamento de captações de água subterrânea. Desta situação resulta que a prática comum, consiste em furar até encontrar água, pouco interessando onde, como e quanta? Nestas condições, naturalmente que não há lugar à redacção de relatórios técnicos ou, quando estes existem, são normalmente demasiado redutores da informação necessária e possível de se retirar de uma sondagem.

No sentido de contrariar essa política, foram construídos 16 piezómetros neste sistema - 13 piezómetros pelo IGM e três pelo INAG, onde foi possível não só o correcto reconhecimento litológico das formações atravessadas como, realizar ensaios de caudal e conhecer os níveis produtivos.

De referir, desde já, que algumas destas sondagens visavam, na zona de Cano, confirmar a conexão hidráulica entre o aquífero associado às rochas do Anticlinal e o aquífero associado aos calcários de Cano. Contrariamente às legítimas expectativas nenhum dos furos confirmou esta hipótese.



1.7 Densidade de furos

Os 234 furos inventariados distribuem-se espacialmente de forma muito pouco uniforme. Este facto deve-se em parte, à proximidade ou não das sedes de concelho ou freguesia, da ocupação do solo e, do conhecimento adquirido, essencialmente pela experiência de campo sobre as produtividades das diferentes zonas. Isto é, desde logo, a distribuição irregular de pontos de água no aquífero não é independente da disponibilidade local de água subterrânea e condiciona a ocupação humana do território. Neste, como em qualquer outro aquífero, a densidade de captações está directamente relacionada com disponibilidade local de água e consequentemente com o sucesso dessas mesmas captações. Este é um dado hidrogeológico com uma importância muito acima do que habitualmente é considerado.

Todavia, esta realidade, comum em muitos sistemas aquíferos, deve ser igualmente interpretada, à partida, como o melhor indicador de zonas onde ocorrem reservas de água disponíveis – naturalmente, coincidentes com a área de descarga do sistema aquífero. Desde sempre as populações e as actividades económicas, ou de subsistência, associadas, reflectem na sua localização, entre outros, este vital facto.

No A4 isto é particularmente evidente. Muitas vezes esquecem-se estes simples factos na interpretação dos padrões e modelos de distribuição da água, neste caso, subterrânea. Assim, na Figura 5.III evidenciam-se as áreas de maior solicitação ao sistema. Próximo de Estremoz, entre Borba e Vila Viçosa, Santa Vitória do Ameixial e Cano. As áreas a branco, correspondem a zonas onde não foi registada a existência de captações. Além, evidentemente, do núcleo do anticlinal – Xistos de Mares -, estas localizam-se na área Sul dos calcários de Cano e a SE de Sousel no sector Norte do anticlinal.

O sector Sul da mancha de Cano corresponde a uma zona menos definida da bacia lacustre e de fácies mais argilizada, este facto é perfeitamente natural atendendo ao paleoambiente de formação destas rochas. Por outro lado, o referido sector do anticlinal (SE de Sousel) corresponde à zona de cotas mais

elevadas coincidente com a charneira da dobra, conhecida localmente como Serra de Sousel ou de S. Miguel, com morfologia tipicamente cársica – uma considerável bacia de características endorreicas assim o evidencia (Figura 1.III) - não faz prever que possa constituir qualquer tipo de sucesso para eventuais captações. A testá-lo podemos considerar a experiência da ENATUR, que no início dos anos 90, mandou executar, sem sucesso, no Monte de S. Miguel alguns furos com o intuito de abastecer a Pousada com o mesmo nome, Figura 6.III. As duas captações que satisfizeram as necessidades acabaram por ser construídas a cotas bastante menores, noutra localização, fora da referida posição estrutural.

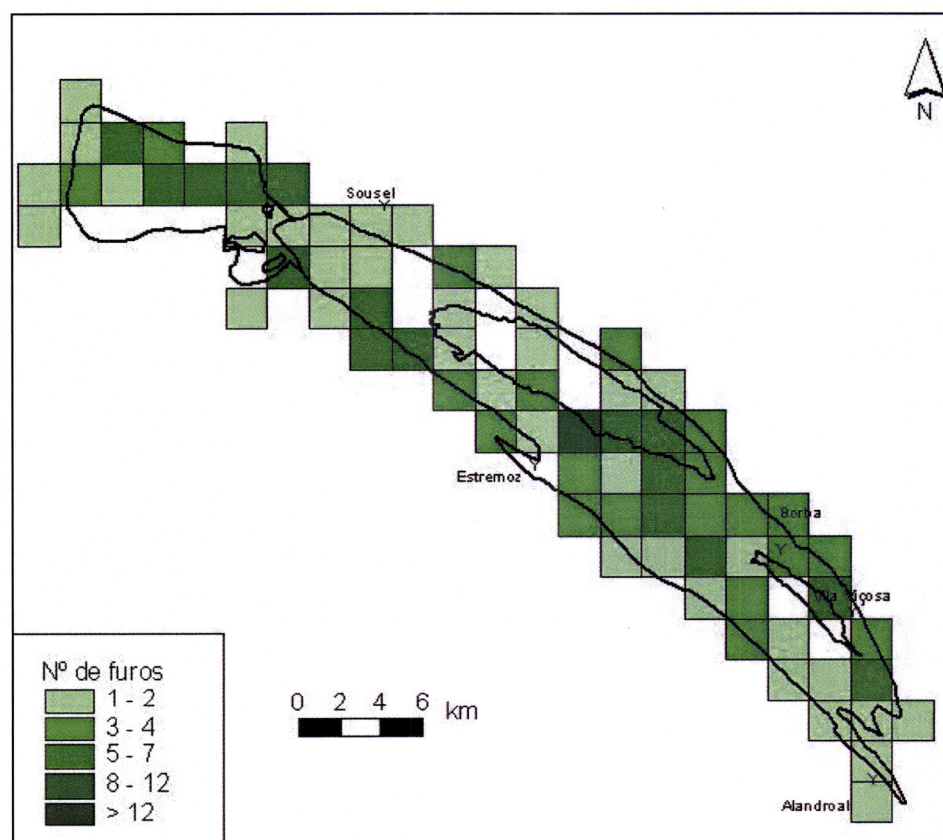


Figura 5.III - Densidade de furos. Trata-se de um excelente indicador das zonas produtivas e estéreis do aquífero (in: ERHSA, 2000).



Figura 6. III -A Sul da Serra de S. Miguel (sector Norte do anticlinal) é possível observar nitidamente as formas cársticas que Mariano Feio apelidou de “mamões” (Cupeto, 1991).

2. Hidrodinâmica

2.1 Introdução

A componente subterrânea do ciclo hidrológico assume três fases fundamentais:

- i. a **recarga**, dependente de factores intrínsecos ao maciço rochoso, e outros externos, e.g. precipitação;
- ii. o **movimento da água no subsolo**, em função do tipo de substrato rochoso e da geometria geológica;
- iii. e, finalmente, a **descarga**, esta dependente de variadíssimos factores tais como a própria morfologia da superfície terrestre.

Agora interessa-nos fundamentalmente **o movimento da água no subsolo**. O movimento de uma massa de água no subsolo é muito variável, para uma dada distância, pode levar anos em meios porosos ou fracturados, e horas, ou menos em meios cársticos.

Os métodos de análise e determinação do movimento da água na rocha assentam, sobretudo na realização de ensaios de bombeamento e/ou recuperação. Este tipo de técnica vulgar é essencial para o conhecimento das características hidráulicas dos aquíferos, designadamente a transmissividade, coeficiente de armazenamento e até, posteriormente, para o cálculo das reservas disponíveis.

Associada a este tipo de ensaios a configuração da **superfície piezométrica**, tal como as tendências evolutivas desses mesmos níveis, é essencial para o conhecimento das direcções de fluxo e, bem assim, das variações temporais desses níveis. Nesta, igualmente, como noutras matérias o A4 tem já um histórico de dados assinalável. Todavia, foi com os trabalhos desenvolvidos pelo INAG no âmbito do ERHSA (1997/99) que se aprofundou e consolidou alguma dessa muita informação, designadamente:

- i. coordenaram-se pontos de água (poços e furos) com GPS, conseguindo precisões tridimensionais na ordem dos 3cm;
- ii. efectuaram-se medições bi-mensais durante pouco mais de um ano em aproximadamente 150 pontos de água, em simultâneo;
- iii. de forma mais irregular, mediram-se caudais em várias nascentes do sistema. (Duarte *et al.* 1997).

A Figura 7.III mostra de forma clara a grande quantidade de ensaios e medições realizadas no A4 durante o ERHSA, bem como a sua distribuição no aquífero.

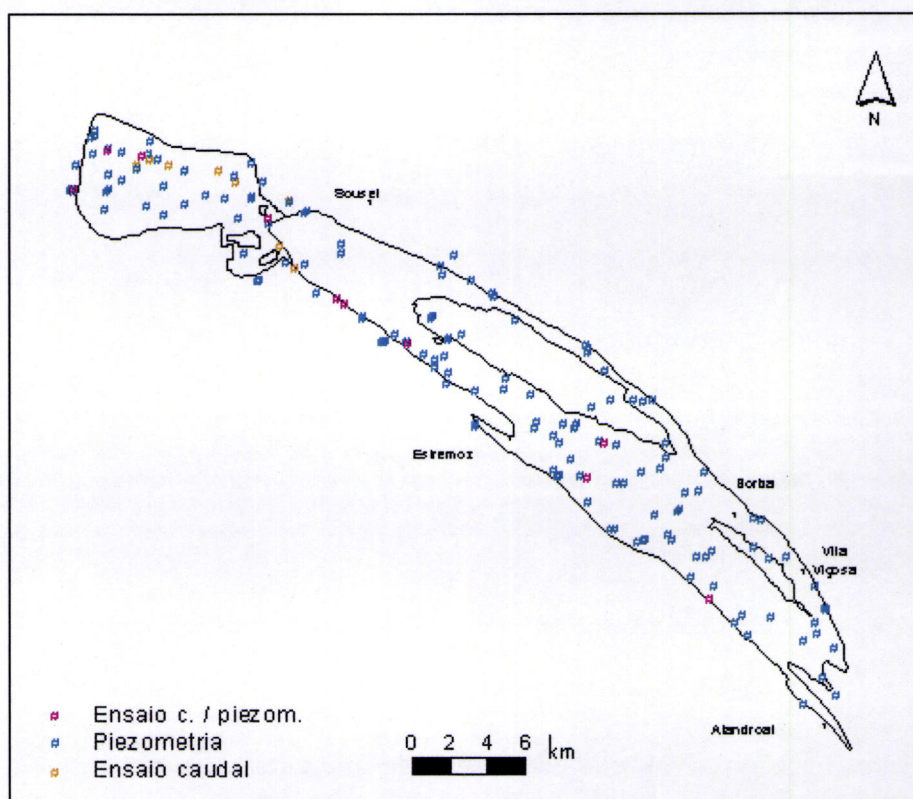


Figura 7.III - Ensaios e medições realizados durante o ERHSA (in: ERHSA, 2000)

2.2 Piezometria

Como já foi referido, e se sabe, a disponibilidade e acesso a piezómetros é essencial em trabalhos de hidrogeologia. Por esta razão, como foi anteriormente citado, durante o ERSHA, o INAG e o IGM tiveram a oportunidade de construir 16 piezómetros no Sistema Aquífero A4. Naturalmente que esta iniciativa deu um grande contributo para o conhecimento do A4, a Figura 8.III mostra a localização desses piezómetros.

Durante os três anos do ERHSA foram realizados no A4 uma grande quantidade de trabalhos por uma vasta equipa no INAG por nós coordenada. Designadamente realizaram-se mais de 1200 medições de profundidades do nível da água, em 154 pontos de água, das quais mais de 794 transformaram-se em níveis piezométricos após coordenação dos pontos de água com elevada precisão (na maioria dos casos, através de GPS, conseguiu-se uma precisão tridimensional na ordem dos 3cm).

Os critérios para a selecção dos pontos de níveis piezométricos foram os seguintes:

- i. furos/poços inactivos, que não sejam sujeitos a extracções intensas e contínuas;
- ii. furos/poços que não fiquem sob a influência de extracções intensas e contínuas;
- iii. pontos de água que se encontrem afastados da industria extractiva ou de qualquer outro tipo de actividade susceptível de provocar a variação do nível piezométrico;
- iv. pontos de água com profundidade conhecida.

Assim, foi possível eleger uma rede piezométrica constituída por 109 pontos de água (poços e furos) onde a distribuição temporal de medições consta da Tabela 2.III.

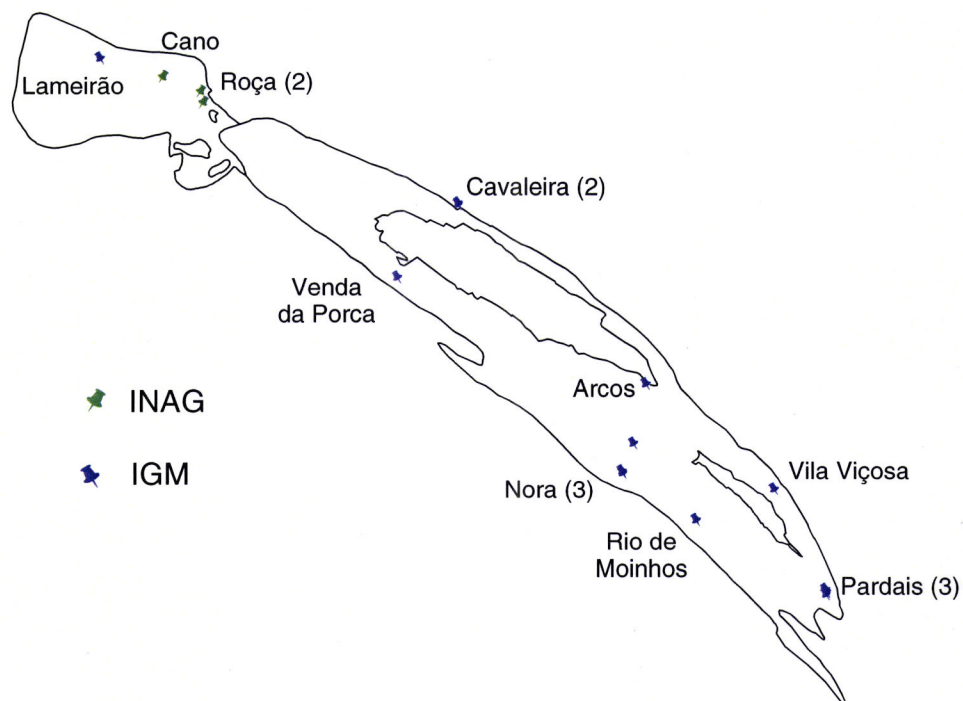


Figura 8.III - Localização dos piezómetros construídos no âmbito do ERHSA (in: ERHSA, 2000)

Tabela 2.III - Número de níveis piezométricos (N.P.) obtidos por campanha.

Data observação	Nº de N.P.	Data observação	Nº de N.P.
Dezembro 1997	97	Outubro 1998	105
Fevereiro 1998	82	Janeiro 1999	107
Abril 1998	103	Março 1999	39
Junho 1998	97	Junho 1999	29
Agosto 1998	105	Setembro 1999	30

Em síntese, as Figuras 9.III e 10.III mostram a superfície piezométrica em Dezembro de 1997 e em Janeiro de 1999.

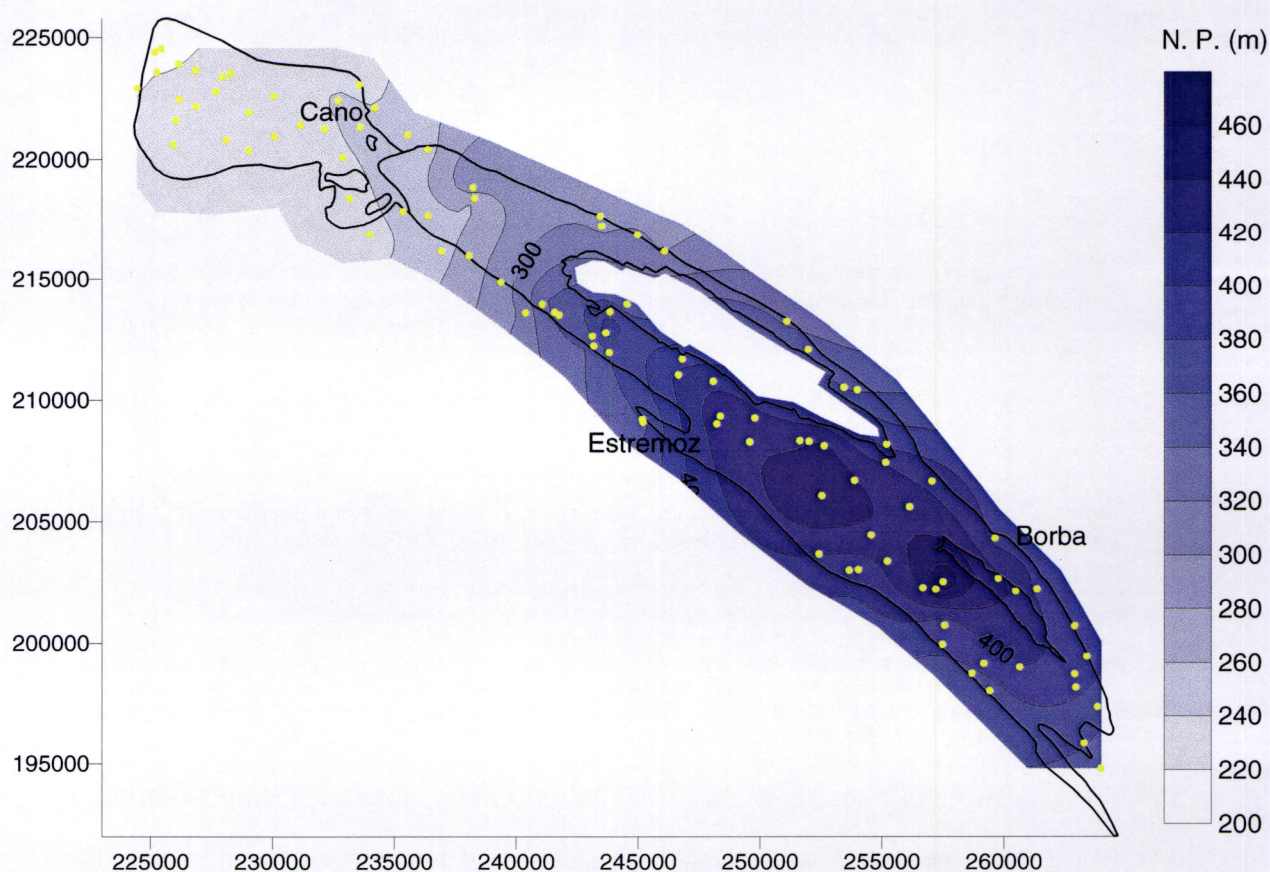


Figura 9.III - Superfície piezométrica em Dezembro de 1997 desenhada a partir de 97 registos de níveis piezométricos (Duarte *et al*, 1997; ERHSA, 2000).

Assim, confirmam-se um conjunto de dados já anteriormente disponíveis. De facto é no sector Norte do anticlinal que os níveis se apresentam mais regulares, tal como no sector de Cano, o principal fluxo faz-se neste sentido. No triângulo dos mármore surgem bem definidos dois pólos de altas pressões.

Em Janeiro de 1999, Figura 10.III, confirmam-se as tendências conhecidas e verificadas em 1997. Todavia nota-se que comparativamente, na generalidade, os níveis baixaram, designadamente no sector norte e Cano.

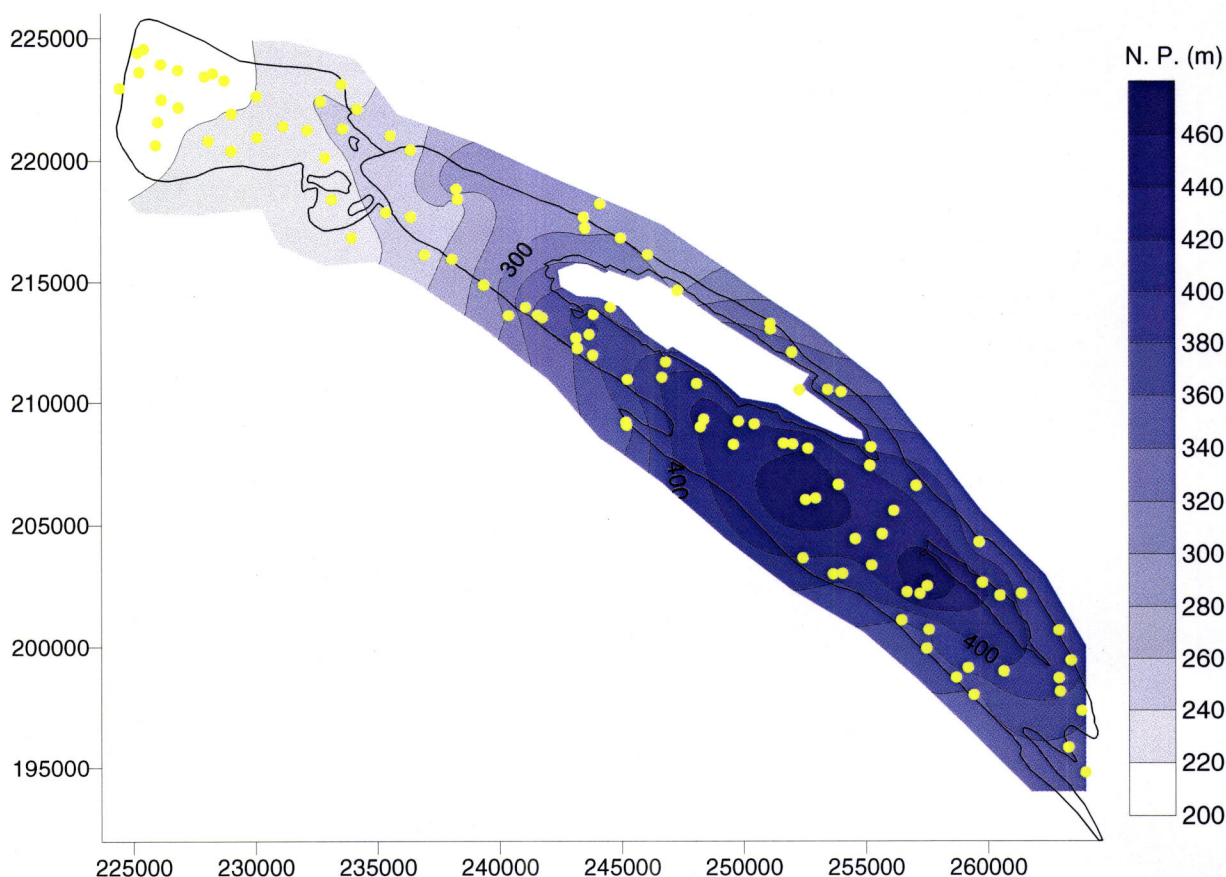


Figura 10.III - Superfície piezométrica em Janeiro de 1999 desenhada a partir de 107 registos de níveis piezométricos (Duarte *et al*, 1997; ERHSA, 2000).

Este generalizado rebaixamento faz com que os pólos depressivos da Zona dos Mármore sejam ligeiramente menos marcados.

A complexidade geológica e a interferência antrópica impossibilita uma configuração de maior pormenor dos sentidos de fluxo, o que seria relevante no apoio local à gestão da água e à sua ralação com as actividades económicas.

Como já foi referido anteriormente, no A4 são naturais dois sectores fundamentais, a Norte de Estremoz (sector NW) e a Sul desta cidade (sector SE). A Figura 11.III mostra que o tipo de fluxo, assim como as classes de gradientes, são distintos nos dois sectores:

- a NW o fluxo principal dá-se longitudinalmente, neste sentido, sendo o sector de Cano conforme com este padrão, e os gradientes não ultrapassam os 13 ‰;

- no sector SE, predominam fluxos divergentes transversais com gradientes a atingirem os 50 ‰.

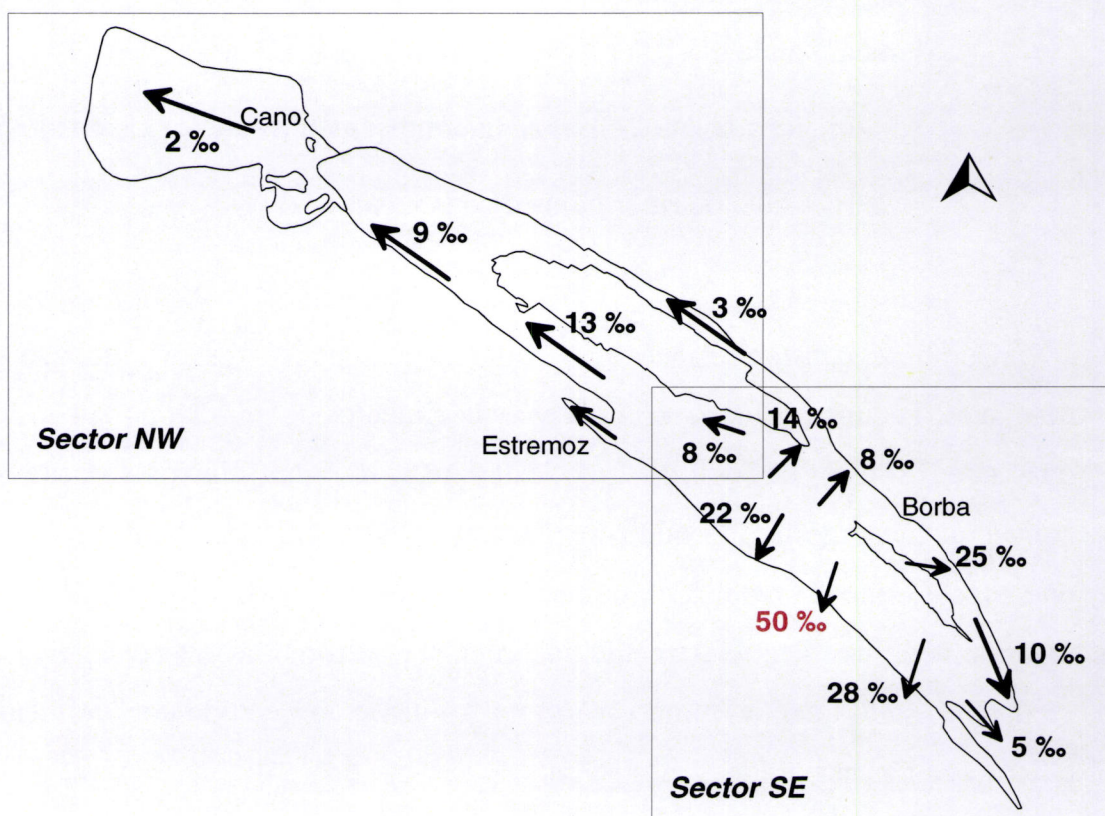


Figura 11.III - Principais sentidos de fluxo subterrâneo e respectivos gradientes hidráulicos (ERHSA, 2000)

2.3 Produtividades

No que respeita às produtividades no A4 existem ainda algumas lacunas de conhecimento que impedem, na generalidade, de falar em caudais específicos que nos dariam valores mais rigorosos e válidos do ponto de vista hidrogeológico.

De facto a informação recolhida em várias captações, designadamente os ensaios de bombeamento realizados, enferma de algumas limitações, entre outras:

- i. sobrevalorização da informação de duvidosa qualidade e rigor hidrogeológico presente em relatórios de sondagens;
- ii. informação resultante de ensaios de bombeamento de curta duração, onde o NHD não teve tempo de estabilizar;
- iii. caudais nos ensaios de bombeamento subdimensionados;
- iv. falta de rigor na medição de caudais.

Como se constata esta é uma realidade um pouco distante do que seria desejável. Todavia, pela experiência e conhecimentos adquiridos no A4 ao longo dos anos, somos da opinião que estas não são as principais lacunas de conhecimento e gestão no que respeita à água neste Sistema Aquífero. Cremos que o acréscimo de resultados que sairia do aprofundar do conhecimento nesta matéria não justifica, claramente, os meios e esforço a envolver. Isto é, o verdadeiro salto qualitativo necessário no A4 não é ao nível do conhecimento de base mas antes nas práticas de gestão.

A Figura 12.II compila a informação disponível, designadamente os caudais obtidos a partir de relatórios de sondagens, as informações de particulares ou de Câmaras Municipais e, por último, os ensaios realizados durante o ERHSA.

Conforme a Figura 12.III ilustra podem-se, desde já, considerar algumas conclusões:

i. as captações com maior produtividade localizam-se junto ao contacto com o encaixante (em zona de descarga do sistema), ao longo da área norte dos calcários lacustres de Cano segundo uma direcção WNW-ESSE, no fecho periclinal Norte do anticlinal. Este facto já tinha sido constatado em 1989 nos trabalhos de campo conducentes à nossa Dissertação de Mestrado. Para este facto concorre a direcção de fluxo neste sentido bem como os dados da química da água subterrânea que também o confirmam. Aliás, basta uma breve observação do uso do solo na Herdade da Romeira, e às infra-estruturas hidráulicas – canal de rega – aí existentes, para compreender que a zona periclinal noroeste do anticlinal sempre constituiu zona de descarga, e, por isso, muito produtiva. São históricas as captações realizadas nas Romeiras por pilão nos anos 60, Figura 6.VI. Através de relatos de idosos e imprensa local, chegámos a tomar contacto com histórias (ou factos?) fantásticas, sobre as quantidades de água aquando dos trabalhos de pesquisa e captação nessa zona. Mais recentemente, finais dos anos 70, início dos anos 80, antes do abastecimento de Évora a partir da Barragem do Monte Novo, e aquando de uma grande crise de abastecimento a esta cidade, chegou a admitir-se as Romeiras como origem de água para Évora. Provavelmente quem pensou nesta hipótese só fez contas às disponibilidades de água e não aos custos de transporte;

ii. existem dois conjuntos principais de nascentes, um, de contacto com os xistos do Silúrico e, outro, de contacto com os xistos do Pré-Câmbrico (núcleo do anticlinal), normalmente as primeiras são bem mais produtivas;

iii. um outro grupo de nascentes ocorre por posição topográfica (pequenas roturas de declive) um pouco por todo o aquífero;

iv. muitas destas nascentes são sazonais e o caudal máximo registado, durante o período de observações, foi de 5,6 L/s;

v. a importante informação sobre captações improdutivas é manifestamente deficitária;

vi. alguns dos furos mais importantes representados (Algar das Morenas, Freixo, Techocas, Romeiras) constituem origens de água para abastecimento público. Além de outros, este facto deve traduzir-se na maior atenção e importância em todas as acções que possam afectar o sistema aquífero.

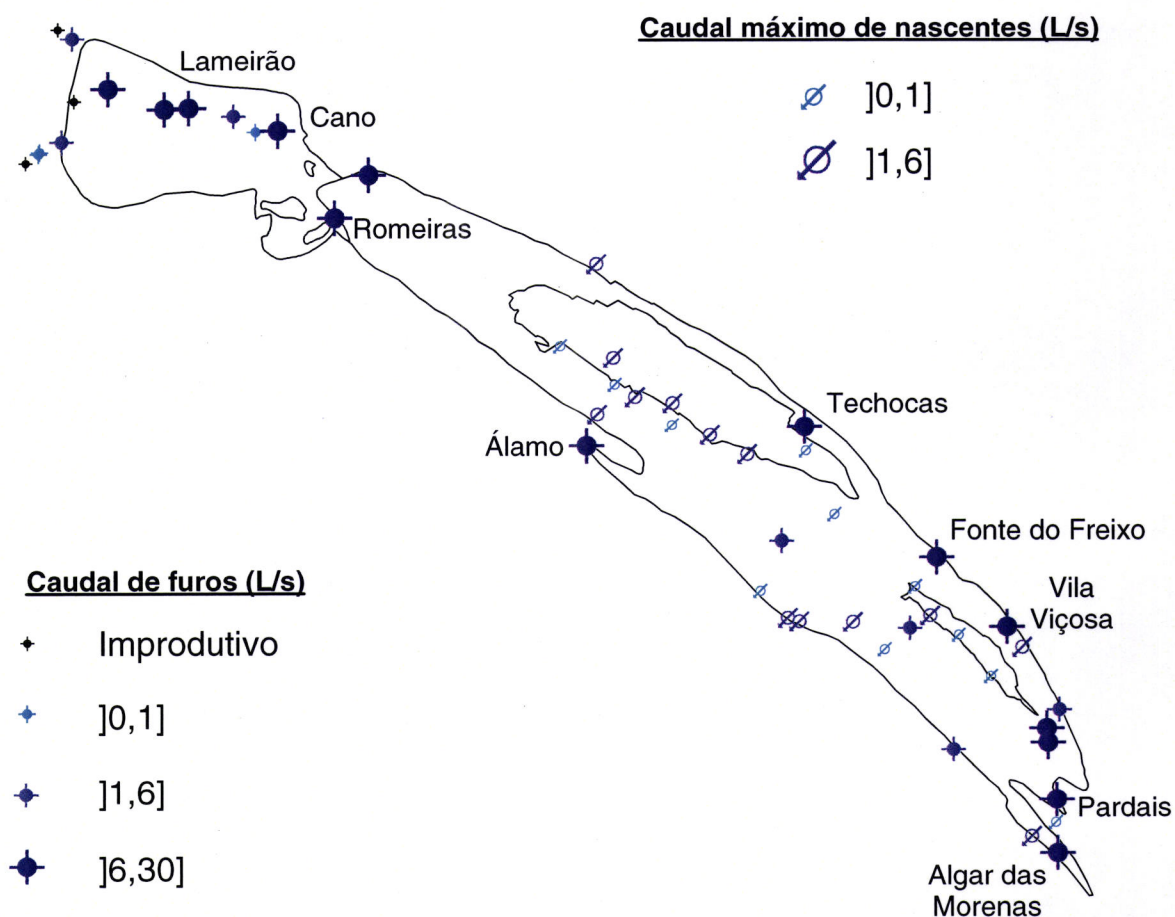


Figura 12.III - Alguns caudais máximos de furos e de nascentes (ERHSA, 2000).

2.3.1 Nascentes

Em matéria de saídas naturais (nascentes) há a considerar que muito pode ser feito no A4 (Rebelo *et al.* 1995). Durante parte de 1994 e 1995 a Câmara Municipal de Borba apoiou o trabalho de uma estagiária em Engenharia Biofísica, por nós orientada, que consistiu em inventariar e estudar todas as nascentes do Concelho de Borba. Os resultados desse trabalho foram apresentados na I Reunión Nacional de la Comisión de Patrimonio Geológico em Madrid (Rebelo *op cit.*) e atestam nalguns aspectos e conclusões relevantes:

- i. a importância das nascentes (arranjo de nascente e estrutura geológica) como património natural e construído;
- ii. a sua grande importância social e económica local;
- iii. o degradante estado de conservação das nascentes;
- iv. a renovação do interesse das populações pela água das nascentes (muitas vezes a má qualidade da água de abastecimento e os numerosos casos de má memória levam as pessoas a procurar e a utilizar água de nascentes locais a maioria das vezes sem controlo de qualidade);
- v. a importância da conservação na manutenção de caudais.

Este último ponto, no que respeita à hidrogeologia, assume a maior relevância. Algumas intervenções de arranjo, limpeza e conservação, vieram mostrar que os caudais podem ser repostos e/ou restabelecidos com intervenções simples desta natureza. Isto é, provavelmente, em todo o aquífero, como se mostrou em Borba, muitas das nascentes secas devem-no à falta de limpeza e conservação e não a factores de natureza hidrológica e/ou hidrogeológica. Sobre as razões do estado de degradação deste património não cabe aqui explaná-las e, além disso, elas são na generalidade conhecidas e óbvias.

Em todo o A4 a existência de nascentes é uma realidade importante, todavia a zona a NW de Borba constitui uma extensa área, tendencialmente aplanada, atravessada pela A6 (auto-estrada Marateca-Caia), onde as rochas carbonatadas

afloram. Pelos trabalhos de Dias *et al.* (1999) é possível compreender como a geometria do anticlinal, aqui com a forma de uma sela (o Precâmbrico, impermeável encontra-se a pequena profundidade), Figura 13.III, impedindo a água de se infiltrar a grandes profundidades e provocando sim, um escoamento lateral. Assim, a água escoar-se, quer para o flanco NE quer para o flanco SW. As fracturas que favorecem esta dispersão são de três tipos: fracturas NE-SW, fracturas sub - horizontais e o próprio contacto entre os carbonatos e o Pré-câmbrico. Esta situação geológico-estrutural justifica um maior número de nascentes nesta zona. Estas, se localizadas junto ao contacto com os xistos do Silúrico são mais caudalosas do que as resultantes do contacto entre os xistos do Pré-câmbrico e a formação dolomítica.

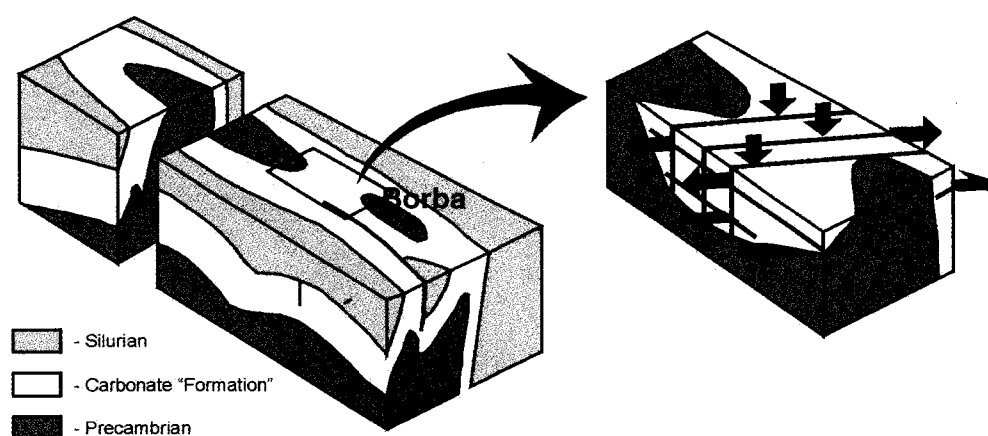


Figura 13.III - Esquema geológico-estrutural da aplanção carbonatada a NW de Borba (in: Dias *et al.*, 1999)

Ainda, no que respeita a nascentes cabe referir dois aspectos importantes:

- i. no sector NW do A4, de 1989 até ao presente, há uma clara degradação das nascentes;
- ii. a Figura 12.III está nitidamente incompleta no que respeita à representação/informação de nascentes;

sobretudo no sector NW, no contacto das rochas calcárias aquíferas com a envolvente xistenta impermeável, há um significativo déficit de informação. Os calcários de Cano são também um exemplo disso. Neste sector do aquífero são típicas as descargas naturais, sobretudo, em águas altas em anos hidrológicos normais. As próprias folhas nº 396 e 397 da Carta Militar de Portugal à escala 1/25000 atestam isso mesmo ao representarem na zona da Parracha, Rouca e Rombo áreas alagadas sazonalmente (Cupeto, 1991). A importância ecológica deste “pormenor” é grande e vai muito além do seu significado hidrogeológico. Este alagamento (nível piezométrico acima da superfície topográfica) constitui, durante largas semanas, um habitat privilegiado para a avi-fauna.

No que respeita a nascentes é ainda relevante referir o *case study* da Herdade de D. Pedro onde uma peculiar infra-estrutura hidráulica constitui um exemplo impar no aproveitamento sustentado, integral de águas subterrâneas e superficiais. A referida infra-estrutura consiste numa galeria a céu aberto com 2.5-3 m de profundidade e um pouco menos de um metro de largura que durante largas centenas de metros, na referida propriedade, drena e conduz por gravidade, até uma barragem, um considerável caudal (Cupeto *op. cit.*) Figuras 14.III e 15.III. Esta obra foi realizada nos anos 60 e constitui um perfeito exemplo de compreensão das condições hidrológicas-hidrogeológicas locais e consequentemente conduz ao bom aproveitamento sustentado da água.



Figura 14.III - Pormenor da galeria a céu aberto na Herdade de D. Pedro. Embora não muito visível neste local está instalado um medidor caudal com registo contínuo.



Figura 15.III - Com a barragem ao fundo, a albufeira de D. Pedro constitui um excelente exemplo do bom aproveitamento da água e dos benefícios da gestão conjunta e integrada água subterrânea – água superficial.

2.4 Parâmetros Hidrodinâmicos

Embora, desde logo, o A4 de natureza carbonatada, com dois sectores completamente diferenciados pelas rochas antigas do Anticlinal de Estremoz e recentes de Cano, evidencie uma marcada heterogeneidade e anisotropia é possível, na generalidade apontar para alguns “números” que nos dão a “dimensão hidrogeológica” do aquífero. Provavelmente estamos perante um sistema que cai dentro daquilo que Chambel et al. (2003) classificam de “heterogeneidade caótica”, isto é, “meios onde a distribuição da permeabilidade (transmissividade) é uma função aleatória, sem qualquer tendência regional aparente”.

Como já foi referido, nesta zona, a estrutura geológica e a origem lacustre dos calcários de Cano parecem indicar, juntamente com outros factores, a existência de dois aquíferos: um superior, associado aos calcários do Cano e outro associado aos calcários câmbricos que se estenderão por baixo da bacia lacustre (Cupeto, 1991).

Assim sendo, consideram-se **dois tipos de aquíferos com comportamentos hidrogeológicos distintos.**

Os calcários lacustres apresentam uma permeabilidade aproximadamente intersticial, enquanto que no anticlinal propriamente dito, a permeabilidade dominante encontra-se associada a fissuras e aos fenómenos de carsificação.

O aquífero cársico (com uma grande importância no contexto regional e mesmo supra-regional, atendendo à predominância de rochas xistentas, e afins, nas regiões envolventes) caracteriza-se pela existência de dois sistemas de fracturas que condicionam a circulação subterrânea, um correspondente a grandes aberturas cársicas e outro constituído por uma rede de microfracturas.

Segundo dados geológicos e hidrogeológicos, o maior desenvolvimento aquífero do sistema ocorre nas terminações periclinais SE e NW.

Na zona do Alandroal, ocorrem alguns algares, destacando-se o algar das Morenas com mais de 50 m abaixo do nível hidrostático, bem como o algar de Stº António, onde estão instaladas as captações que abastecem a vila do

Alandroal, apresentando um rebaixamento de 0.40 m para uma bombagem de 10 l/s (Carvalhosa *et al.*, 1987).

A NW, no Concelho de Sousel, foram igualmente identificadas algumas estruturas deste tipo, onde se situam as captações públicas que abastecem grande parte do Concelho de Sousel. Captações estas que à data da sua construção, 1960, apresentavam caudais de 83 l/s, com rebaixamentos de aproximadamente 1.2 m (Cupeto, 1991).

Na zona de Estremoz, mais propriamente nas Techocas, existem ainda nascentes muito produtivas com caudais de 25 l/s. No entanto, a grande heterogeneidade do meio já foi testemunhada por várias sondagens improdutivas feitas nas imediações das referidas nascentes. Aliás, é esta característica de grande anisotropia do sistema que justifica a não contaminação destas captações públicas por uma vacaria que se encontra a escassos metros.

Segundo Carvalhosa *et al.* (1987), o aquífero regional de rochas carbonatadas onde se inclui a Formação dolomítica de Estremoz e a fácies carbonatada do Complexo vulcano-sedimentar de Estremoz, apresenta transmissividades que variam entre 300 m² /dia e os 2000 m² /dia, e coeficientes de armazenamento que variam de 5×10^{-3} a 5×10^{-2} .

Os calcários de Cano que constituem um aquífero poroso livre, as transmissividades variam entre 600 a 800 m² /dia, e os coeficientes de armazenamento encontrados são de 2.9 a 7×10^{-3} (Cupeto, 1991).

2.4.1 Ensaios de bombeamento

São conhecidas as oportunas, justas, vulgares e comuns discussões à volta dos métodos e da realização de ensaios de bombeamento. Este tema é clássico recorrente nos manuais e artigos de ciência hidrogeológica. O certo é que desde Theis (1935) ou Jacob (1940) a simplificação das metodologias de ensaio desenvolvidas por estes autores estão generalizadas e todas as aplicam, com mais ou menos críticas ou limitações. Como se sabe, as condições de realização dos ensaios nunca são as ideais, tão pouco as desejadas, muitas vezes ficam longe das

previstas. A realização e interpretação dos resultados de um ensaio de bombeamento são de um modo geral acompanhadas por inúmeras dificuldades, no presente caso, entre outras, verificou-se a:

- i. inexistência de furos em zonas com o nível piezométrico não afectado;
- ii. inexistência de furos que possam bombear durante horas ou dias consecutivos;
- iii. inexistência de furos de observação e acompanhamento;
- iv. presença de rochas fracturadas com marcada anisotropia.

A própria expressão “ensaio de bombeamento” está longe de colher a unanimidade. De facto há autores que preferem “ensaio de bombagem”, ou ainda “ensaio de caudal”. Esta matéria é irrelevante e não contribui, de forma alguma, para a valorização da ciência hidrogeológica.

Conhecida esta realidade e este contexto o importante é estar consciente das limitações e das condicionantes com que contamos. A procura das características dinâmicas do A4 é tão antiga como os primeiros trabalhos de natureza hidrogeológica que ali foram realizados. Todavia, é a partir de 1985, com o IGM que se faz, nesta matéria, um trabalho mais regular e sistemático. A Figura 16.III sintetiza os trabalhos do IGM desde essa altura. Alguns dos valores apresentados nesta figura são muito discutíveis e a sua análise crítica levaria a profundas discussões que, por um lado, saem fora do âmbito que pretendemos seguir e, por outro, faltam-nos os dados e as condições dos ensaios que conduziram a estes números. De qualquer forma devemos ter sempre presente que este grande acervo de informação respeita a um largo período, de mais de 20 anos de ensaios, realizados, certamente, nas mais variadas condições, designadamente a existência de barreiras negativas e de vários níveis suspensos podem justificar algumas das situações referidas.

Pela importância das captações aqui existentes, que abastecem Estremoz, e porque a situação exemplifica o que consideramos uma importante característica do maciço, destaca-se o ensaio realizado pelo IGM nas Techocas. Aqui, houve a oportunidade de ter sido possível medir os níveis na captação (F) e em mais dois furos que serviram de piezómetros (P1 e P2) situados a 18.2 e 68 m do furo de bombagem. Merecem particular referência as direcções definidas pelos três pontos correspondentes às três captações. Os furos F e P1 encontram-se segundo uma direcção N60°W, ou seja segundo uma direcção próxima da estratificação, enquanto que os furos F e P2 apresentam uma direcção N50°E encontrando-se alinhados segundo a direcção predominante dos acidentes tectónicos cisalhantes transversais à estrutura. Assim, o coeficiente de armazenamento e transmissividade obtidos na direcção NE-SW resultam, provavelmente, de um desenvolvimento preferencial da fracturação/carsificação nesta direcção. Isto é, num contexto mais local as direcções de fluxo são certamente condicionadas pelos acidentes tectónicos transversais (NE-SW). Este exemplo traduz, de forma clara, o esperado comportamento cársico do maciço.

Mais uma vez, é a partir de 1989 com os trabalhos conducentes à nossa Tese de Mestrado e, depois com o ERHSA (1997/1999), que se aprofunda e intensifica a realização de ensaios de bombeamento no A4. Como seria de esperar todo este grande número de ensaios confirma a grande heterogeneidade do A4 no que respeita aos parâmetros hidrogeológicos.

Assim, com o objectivo de caracterizar hidrodinamicamente o sistema aquífero Estremoz-Cano foram realizados vários ensaios de bombeamento com recurso a bomba submersível e à injeção de ar comprimido (Air-Lift).

Em Setembro de 1997 procedeu-se à realização de uma campanha de ensaios de bombeamento com recuperação em regime variável. A metodologia utilizada nestes ensaios obedeceu, em primeiro lugar, à medição dos níveis iniciais, ou seja, à profundidade em que se encontra o nível da água em relação à cota do terreno (nível piezométrico) no furo onde se efectua a bombagem, bem como, nos piezómetros de observação.

Sempre que possível, ao ensaio de bombeamento seguiu-se o ensaio de recuperação. A partir dos valores obtidos neste ensaio, e procedendo da mesma forma que no ensaio de bombeamento, foi também possível determinar o valor da transmissividade (Tr).

Atribui-se significativa importância aos ensaios de recuperação que são muito úteis para comprovar o grau de conexão hidráulica entre a captação e o aquífero, informação da maior importância neste tipo de aquíferos. É possível ainda verificar as condições em que foi realizado o ensaio, ou seja: se houve reciclagem de água, recargas exteriores, ou se o aquífero é limitado (barreiras, níveis suspensos locais etc.).

Nesta campanha foram realizados três ensaios nas formações carbonatadas paleozóicas, dos quais, mais uma vez, resultaram valores de transmissividade muito díspares, o que vem corroborar a grande heterogeneidade do meio, no que se refere ao grau de fracturação e carsificação, e logo hidrogeologicamente, Figura 17.III.

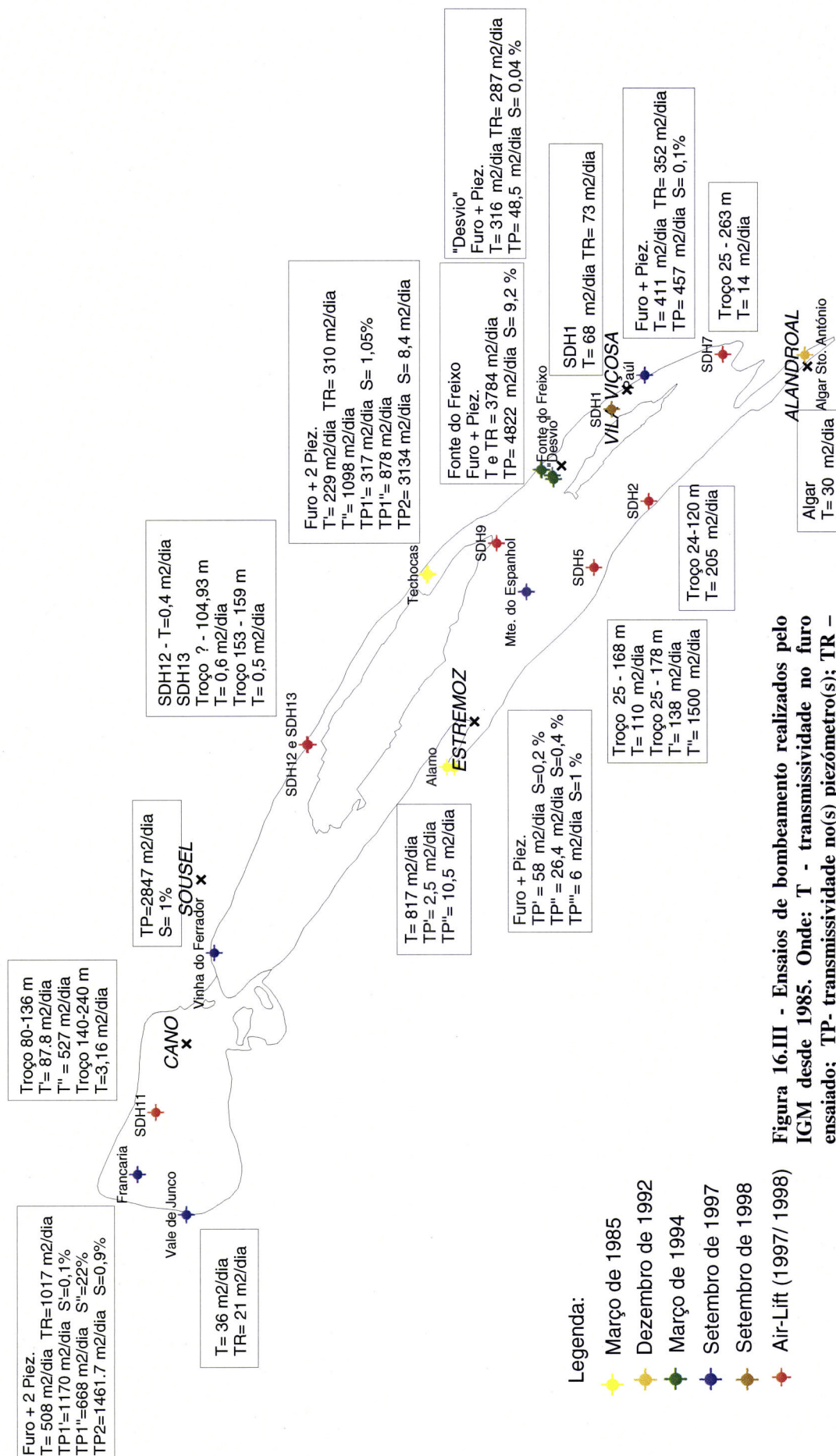


Figura 16.III - Ensaios de bombeamento realizados pelo IGM desde 1985. Onde: T - transmissividade no furo ensaiado; TP- transmissividade no(s) piezômetro(s); TR - transmissividade em recuperação; T(R)_{I,II,III} - Transmissividade em vários momentos. (in: Relatório ERHSA 2001)

As conclusões dos ensaios realizados são, de forma sintética:

- na Vinha do Ferrador, foi realizado apenas um ensaio de bombeamento com medição só possível no piezómetro que se encontrava a 45 metros da captação, e que apresentava 19 metros de profundidade. Esta é uma situação bastante desfavorável - um furo em extracção onde não foi possível medir níveis e, um furo não equipado a 45 m da captação. Foi possível determinar os parâmetros hidráulicos T e S, recorrendo à simplificação de Jacob, Figura 17.III. Não foi possível conduzir o ensaio até à estabilização dos níveis, Figura 18.III.

- o Monte do Espanhol constitui uma situação mais favorável que a anterior, uma vez que foi possível efectuar leituras na captação e em dois piezómetros localizados nas proximidades. O piezómetro um (Piez.1) apresentava um nível piezométrico de 464,7 metros e o piezómetro dois (Piez.2) de 465,7 metros, situando-se respectivamente a 9 e a 27 metros de distância da captação. No ensaio de bombeamento, foram obtidos valores para a transmissividade e para o coeficiente de armazenamento para os dois piezómetros (T1, S1 e T2, S2). No ensaio de recuperação, o valor da transmissividade (Tr) foi de 27,6 m²/dia, Figura 17.III. Este valor de transmissividade é muito inferior às que, de um modo geral, caracterizam o sistema aquífero de Estremoz. Este facto sugere a existência de barreiras impermeáveis que compartimentam o sistema, provavelmente os filões doleríticos já referidos, Figura 19.III.

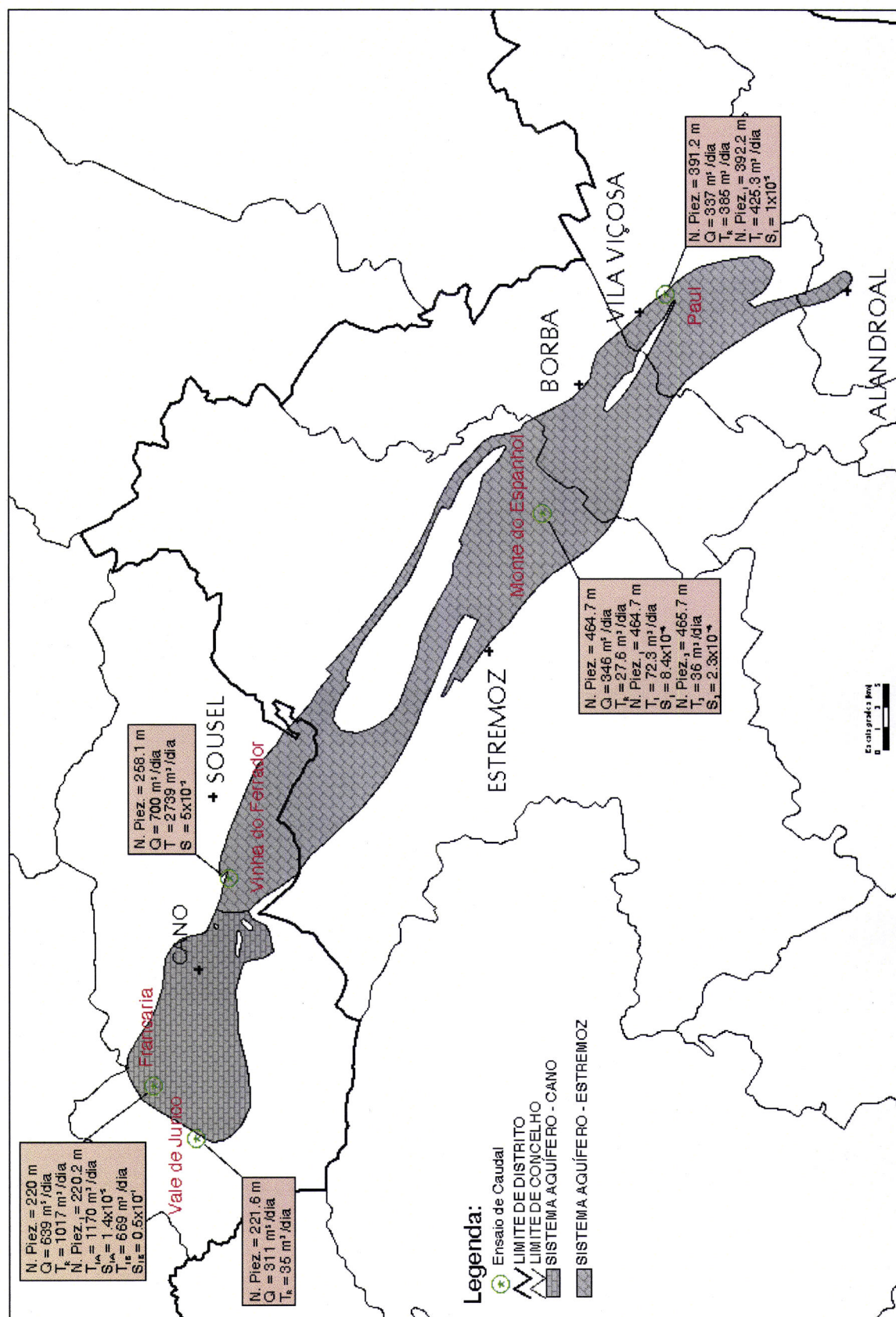


Figura 17.III - Localização dos pontos de água onde se efectuaram os ensaios de caudal. (INAG, 1997)

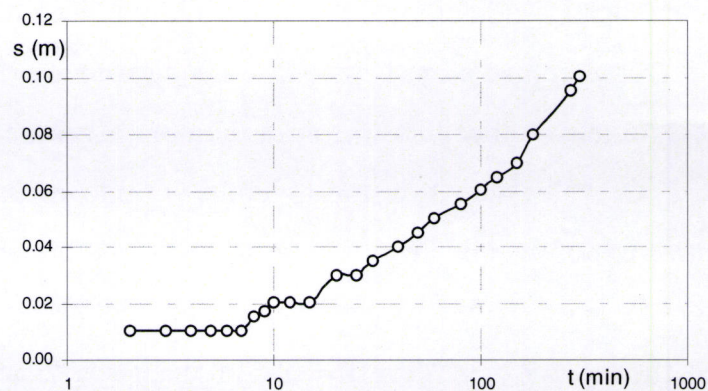


Figura 18. III - Rebaixamentos medidos no piezômetro.

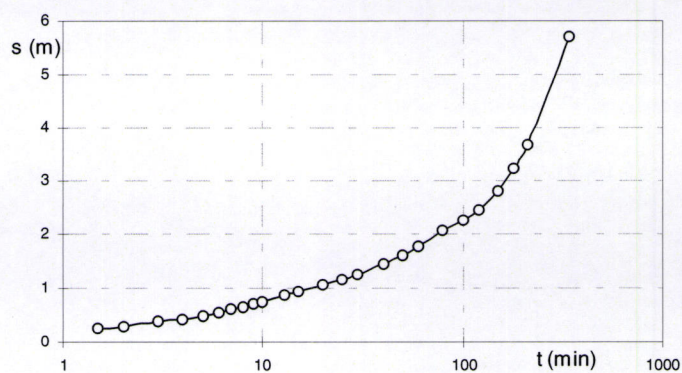


Figura 19. III - A descida abrupta do NHD pode indicar a existência de uma barreira negativa.

Esta provável ocorrência origina diferentes valores de transmissividade, Figura 20. III.

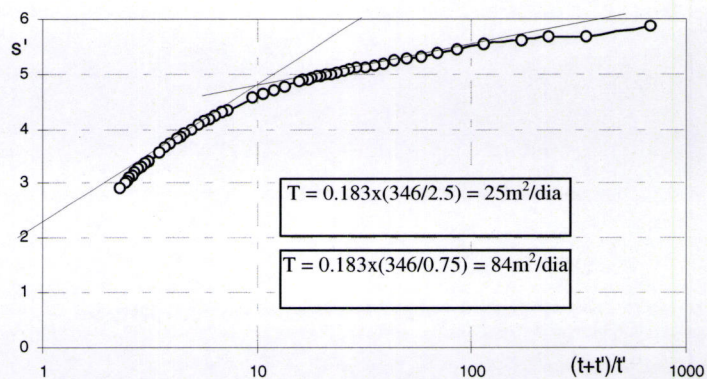


Figura 20. III - O efeito de uma provável barreira negativa faz variar o valor obtido para a transmissividade ao longo do tempo.

- no Paúl, foi possível efectuar um ensaio de bombeamento seguido de recuperação, tendo sido os parâmetros hidráulicos calculados com base nas leituras efectuadas na captação e no piezómetro 1. Este piezómetro, dista 32,5 metros da captação, e apresenta um nível piezométrico de 392,2 metros. O valor da transmissividade, obtido durante o ensaio de bombagem no piezómetro (T1) e o valor da transmissividade obtido durante o ensaio de recuperação numa captação (Tr), são muito semelhantes, $T = 425 \text{ m}^2/\text{dia}$ e $T = 385 \text{ m}^2/\text{dia}$, respectivamente, Figuras 21.III, 22.III e 17.III.

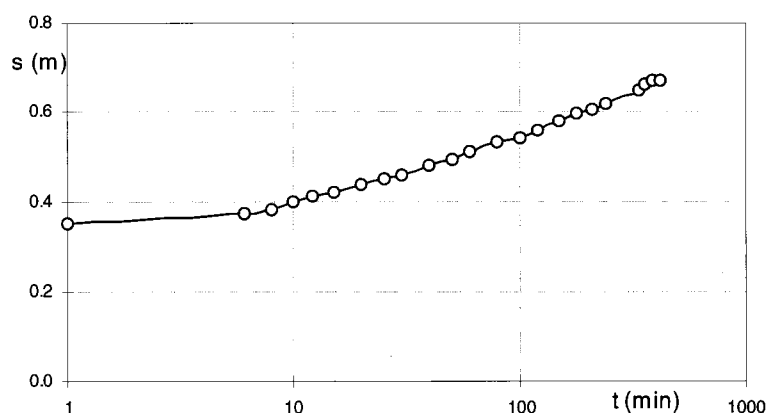


Figura 21.III - Rebaixamentos na captação.

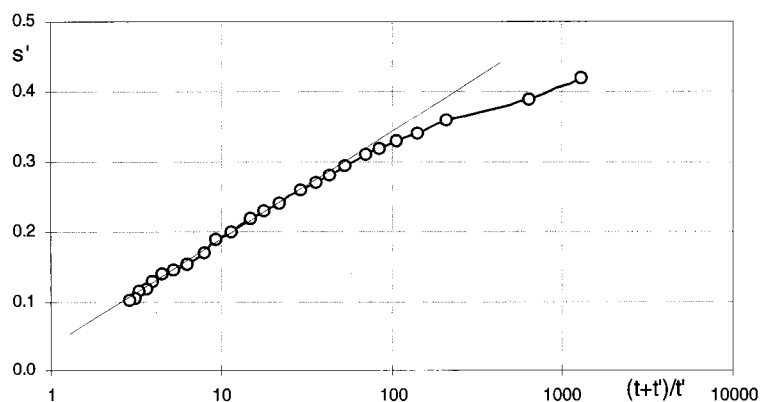
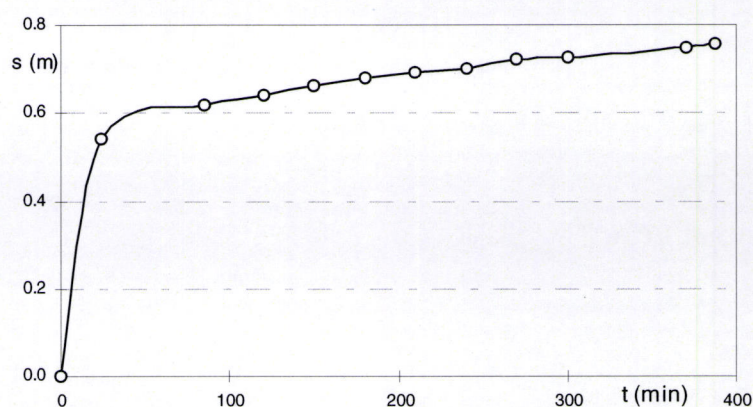


Figura 22.III - Ensaio de recuperação.

Na extremidade NW do anticlinal – sector de Cano - procedeu-se à realização de dois ensaios de caudal com leituras na captação ensaiada e em dois furos situados a mais de 150 metros desta. No entanto, durante o ensaio de bombeamento, não foi registada qualquer alteração no nível da água nos

O ensaio efectuado em Vale de Junco, sobre as rochas xistentas do Silúrico, traduz a baixa transmissividade associada a este tipo de rochas quando comparada com a transmissividade que ocorre nos calcários lacustres, na zona da Francaria. Nesta zona, foi realizado um ensaio de bombagem, seguido de recuperação, com utilização de um furo onde se procede à bombagem e de um outro ponto de água, localizado a 4 metros do anterior, que serviu de piezómetro. A aplicação do método de Jacob resultou, num caso especial, em que se obteve dois valores de transmissividade e de coeficiente de armazenamento no mesmo piezómetro (T1a, S1a e T1b, S1b), devido à existência de dois segmentos de recta com diferentes inclinações. Neste ensaio, a partir dos 80 minutos houve uma diminuição da transmissividade, o que pode significar a existência de duas zonas com diferente grau de fracturação. Uma zona mais fracturada, à superfície, com transmissividade de $1168 \text{ m}^2/\text{dia}$ e outra, em profundidade, menos “fracturada” com transmissividade igual a $669 \text{ m}^2/\text{dia}$ Figuras 17.III, 23.III e 24.III.



91

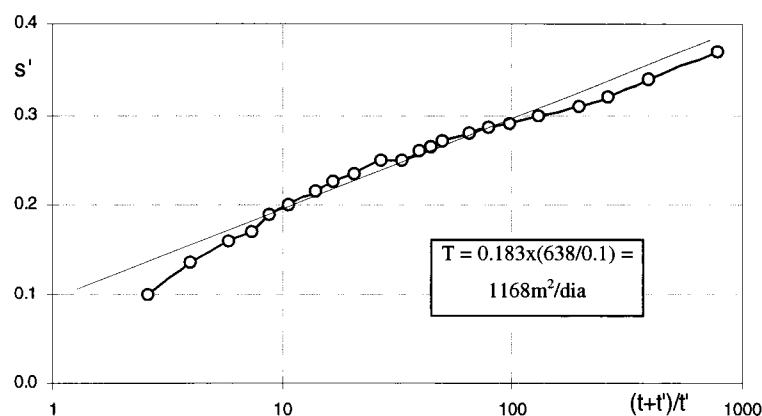


Figura 24.III - Maior valor de transmissividade calculado com o ensaio de recuperação.

Uma análise de conjunto efectuada a todos os estudos disponíveis, desde Paradela, na década de 60, mostra a grande heterogeneidade do meio como uma característica da formação aquífera de Estremoz. Esta mesma característica está igualmente presente no sector de Cano, provavelmente por razões diferentes. No primeiro caso pela sectorização geológico-estrutural e intervenção humana (pedreiras) e no segundo pela pequena dimensão da bacia e pela maior ou menor conectividade deste sector com o aquífero associado aos calcários antigos.

3. Hidrogeoquímica

3.1 Introdução

As propriedades químicas das águas subterrâneas resultam de um conjunto complexo de causas de natureza geológica, química, antrópica, climatológica e temporal, entre outras.

Lledo *et al* (1988) referem a propósito de possíveis alterações à qualidade química da água, desde logo:

- i. o grau de conexão de um furo com o meio;

- ii. a taxa de renovação da água;
- iii. eventuais interacções com o entubamento e estrutura do furo;
- iv. a profundidade de procedência da água;
- v. a existência de fluxos verticais ao longo do furo – mistura de águas.

Isto é, a ficha físico-química de uma água que se obtém no laboratório resulta de um conjunto alargado de processos, naturais ou não, controlados ou não, indiferentes ou comprometedores para o resultado final. O contraste entre o estudo analítico, de alta precisão, que colide com os erros experimentais de escolha e conservação das amostras, está inerente a todos os estudos desta natureza. Esta realidade deve ser considerada e estar sempre presente.

Outro dos factores de ordem física que interfere na qualidade das águas circulantes relaciona-se com o tempo de contacto da água com a matriz sólida do solo-rocha. De facto a heterogeneidade e anisotropia da matriz sólida constituinte do aquífero sujeitam a água de circulação subterrânea a processos de dispersão diferentes alterando-lhe os percursos e tempo de contacto.

3.2 Monitorização hidrogeoquímica

Tal como noutras matérias, no que respeita à caracterização hidrogeoquímica o A4 tem já um histórico de dados que possibilita caracterizar, conhecer e acompanhar a evolução da qualidade química da sua água. Ao longo de mais de duas décadas – este trabalho iniciou-se pelo então Serviços Geológicos de Portugal – foram realizadas milhares de medições de campo e análises de laboratório.

Particularmente nos últimos cerca de 15 anos assistiu-se a um enorme incremento dos trabalhos de caracterização da água realizados no A4. Em 1988 aprofundou-se bastante o inventário de pontos de água que culminou em Março de 1989 com a definição de uma rede onde se realizaram várias campanhas de amostragem e análise. As primeiras duas colheitas (Março e Julho de 1989)

constituíram a base para a Dissertação de Mestrado que em 1991 apresentámos à FCUL.

Cerca de 10 anos depois, e durante a realização do ERHSA, o grande número de pontos de água inventariado foi sujeito a uma actualização, validação e selecção.

Da totalidade de pontos de água inventariados, constitui-se então uma rede de 136 que foi objecto de monitorização físico-química, tendo ainda 91 destes, sido analisados em laboratório.

Os 91 pontos com análise laboratorial correspondem a:

- 2 poços (2%);
- 26 nascentes (29%);
- 61 furos (67%);
- 2 algares (2%)

No campo, sempre que possível, determinou-se:

- temperatura da água;
- condutividade eléctrica;
- pH;
- Eh;
- oxigénio dissolvido;
- dióxido de carbono livre;
- nitratos.

A obtenção destes dados no campo foi da responsabilidade da equipa da Divisão de Águas Subterrâneas do Instituto da Água. De referir que alguns destes trabalhos foram objecto de várias experimentações de alguma forma inovadoras. Nesta situação está a medição *in situ* do valor de nitratos por uma sonda multiparamétrica. Naturalmente que sempre que decorriam este tipo de acções

havia uma grande atenção no que respeita à sua validação, designadamente por comparação com métodos clássicos e aceites.

3.3 Caracterização físico - química da água

3.3.1 Temperatura

A temperatura é um parâmetro de crítica importância, sendo um ótimo indicador do movimento da água subterrânea em muitos estudos regionais.

Em todo o A4 não há qualquer anomalia térmica a registar.

Considerando os dados de cinco campanhas de amostragem (207 registos), durante o ERHSA, observa-se uma elevada homogeneidade entre 16 e 19°C (80% da amostra possui estas temperaturas). Os valores extremos poderão encontrar-se afectados pela temperatura ambiente pois nem sempre as medições são efectuadas tão próximo da origem quanto o desejado Tabela 3.III.

Tabela 3.III - Temperatura da água.

Média	Des. Padrão	Mínimo	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	Máximo
17,8	1,1	13,7	17,0	17,8	18,6	21,7

3.3.2 Condutividade

A capacidade de uma água conduzir cargas eléctricas é medida pela condutividade. Só por si este valor é relevante na avaliação da concentração e carga dos iões em solução. Considerando 115 medições realizadas durante ERHSA, este parâmetro apresenta uma distribuição mais ou menos simétrica com dispersão igual a 19% Tabela 4.III.

Os valores máximos encontram-se em Vale de Freixo (1037 $\mu\text{S/cm}$) e Casa Branca (1160 $\mu\text{S/cm}$) ambos na terminação NW do Sistema Aquífero – provavelmente devido a contaminação orgânica com origem em efluentes domésticos não tratados ou a fossas sépticas a operar mal, em Machados (1166

$\mu\text{S/cm}$) – eventualmente causa natural devido a possíveis mineralizações nos xistos Pré-Câmbricos -, e Nora (1007 $\mu\text{S/cm}$) – devido a provável causa agrícola.

As concentrações mínimas ocorrem na terminação SE do Sistema Aquífero, na zona de Pardais – poderá indicar um tempo de residência muito curto, já que a intensa actividade mineira da zona leva a constantes e intensos bombeamentos.

Tabela 4.III - Condutividade eléctrica.

Média	Des. Padrão	Mínimo	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	Máximo
747	142	426	658	725	830	1166

3.3.3 pH

Verifica-se que este parâmetro apresenta uma distribuição simétrica relativamente ao valor 7,3 que constitui a média e mediana da distribuição, com reduzida dispersão (3%).

Todos os valores medidos encontram-se dentro do intervalo típico de águas com circulação em calcários Tabela 5.III.

Tabela 5.III - pH

Média	Des. Padrão	Mínimo	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	Máximo
7,3	0,2	6,9	7,2	7,3	7,4	8,2

3.3.4 Iões maiores

A caracterização química da água do A4, conforme já referido, é matéria largamente estudada. Assim, em vez de se repetir a listagem de vastas tabelas de valores, e/ou expressá-los em mapas, optou-se antes por recorrer, “apenas” à

representação gráfica dos tradicionais diagramas de Piper e Stiff. Como se sabe trata-se de um tratamento gráfico de grande relevância hidrogeológica.

Com estes dois diagramas fica qualquer usuário deste trabalho com a informação hidrogeoquímica fundamental do A4.

3.3.4.1 Diagramas de Stiff

Este tipo de diagramas é fundamental na caracterização das fácies hidrogeoquímicas do aquífero e, bem assim, da sua repartição espacial. Os dados e os mapas são, mais uma vez, os resultantes do ERHSA – a cores diferentes os pontos do aquífero, da responsabilidade do INAG, e os da envolvente medidos pela Universidade de Évora.

Para a elaboração destes diagramas recorreu-se para além das análises efectuadas em pontos de água do próprio A4, a análises de captações da área envolvente. Este procedimento visou enquadrar e contextualizar de forma expedita, mas rápida, as características das águas analisadas no Sistema Aquífero A4.

Como seria de esperar o contraste entre o aquífero e a envolvente é significativo. Nas Figuras 25.III e 26.III sobressai, naturalmente, o carácter bicarbonatado cálcico a calco-magnésiano das águas do Sistema Aquífero.

Aos tradicionais Diagramas de Stiff, porque se considera relevante, foi acrescentada a informação sobre o ião Nitrato.

A ocorrência de alguns valores elevados de nitratos nalguns pontos de água tem-se verificado ao longo dos anos no A4. Como se pode constatar não há alteração entre águas baixas e águas altas o que confirma a persistência deste facto.

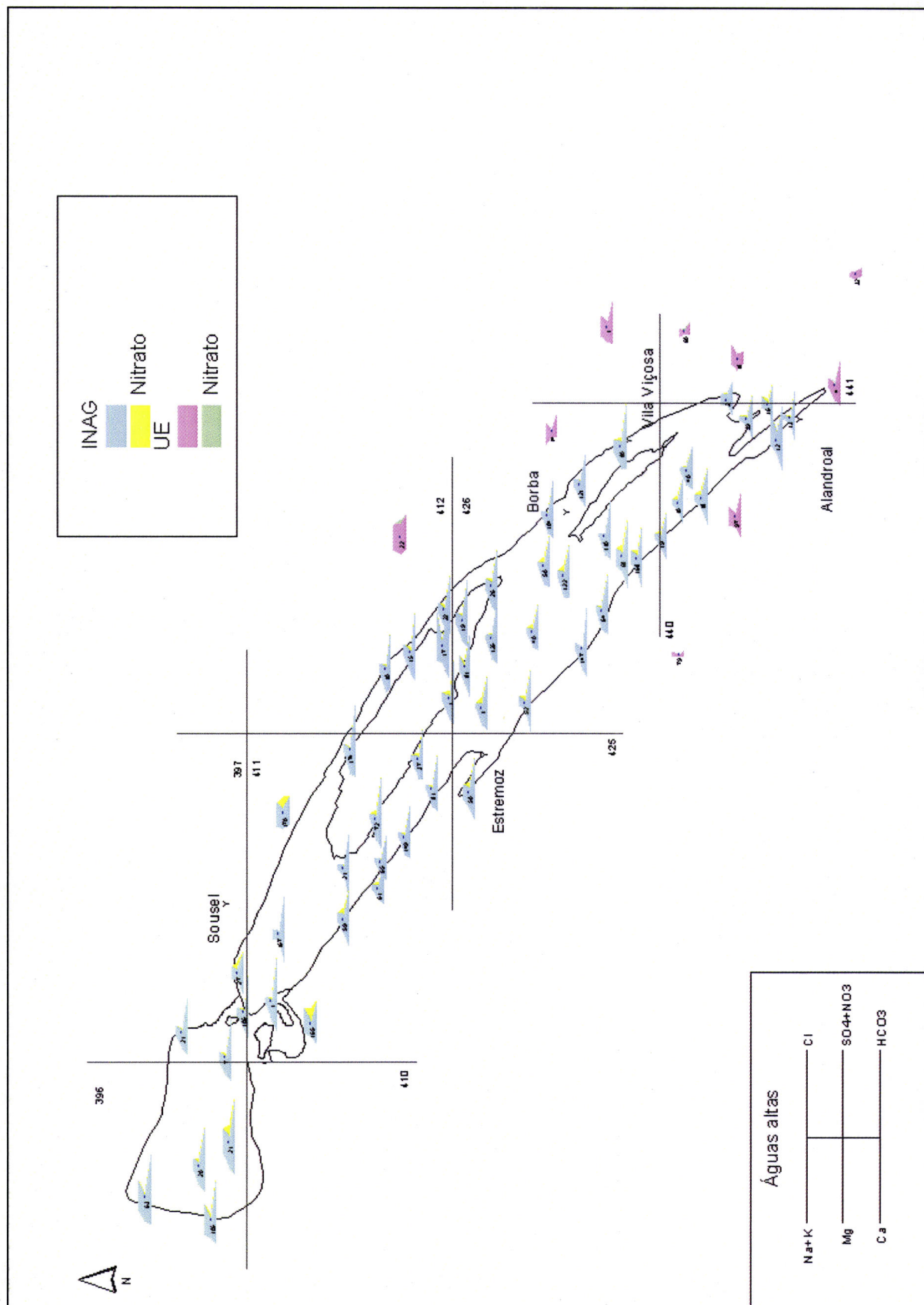


Figura 25.III - Diagramas de Stiff (águas altas) no A4 e envolvente (in: ERHSA, 2000). O contraste entre as duas águas é bem evidente. As zonas de maior contaminação agrícola são também identificadas. A distinção entre as águas do anticlinal e as de Cano aparece sobretudo associado ao carácter mais magnésio destas últimas.

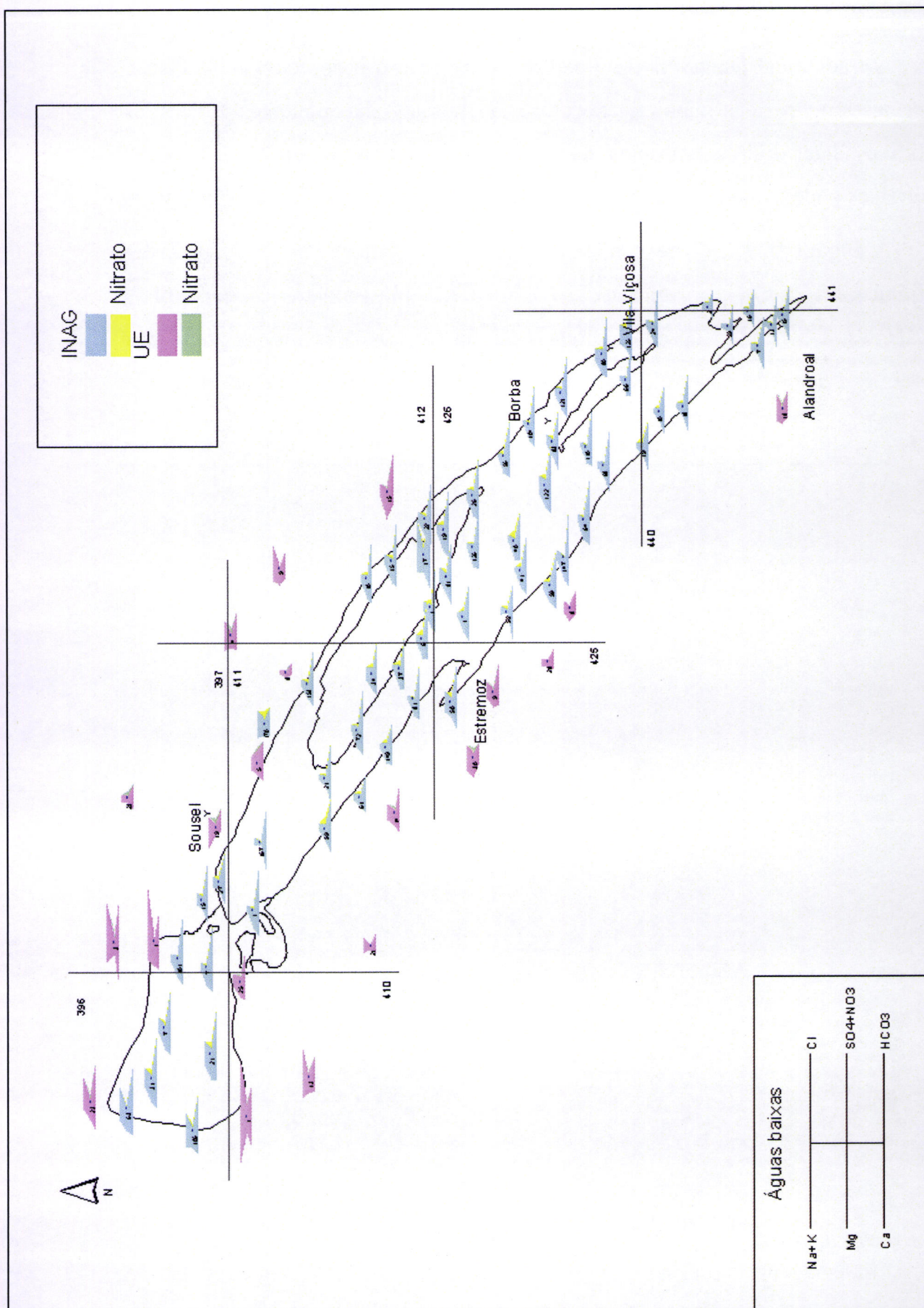


Figura 26.III - Diagramas de Stiff (águas baixas) no A4 e envolvente (in: ERHSA, 2000). Não há grande diferença com as águas altas.

3.3.4.2 Diagramas de Piper

O tradicional Diagrama de Piper, ao representar a proporcionalidade entre espécies iônicas (iões maiores, excepto o ião nitrato), dá excelentes indicações sobre a fácies hidrogeoquímica da água. A projecção de dados de épocas diferentes pode evidenciar alguma evolução/variação do perfil químico da água.

A Figura 27.III, correspondente a águas altas, mostra a preponderância catiónica do cálcio e magnésio e, aniônica, do bicarbonato (para os pH's existentes, a concentração em carbonato é mínima). Os “desvios” ocorrem nos seguintes pontos de água: (1) Cardeais; (2) Machados; (3) Romeiras; (4) Fonte das Freiras.

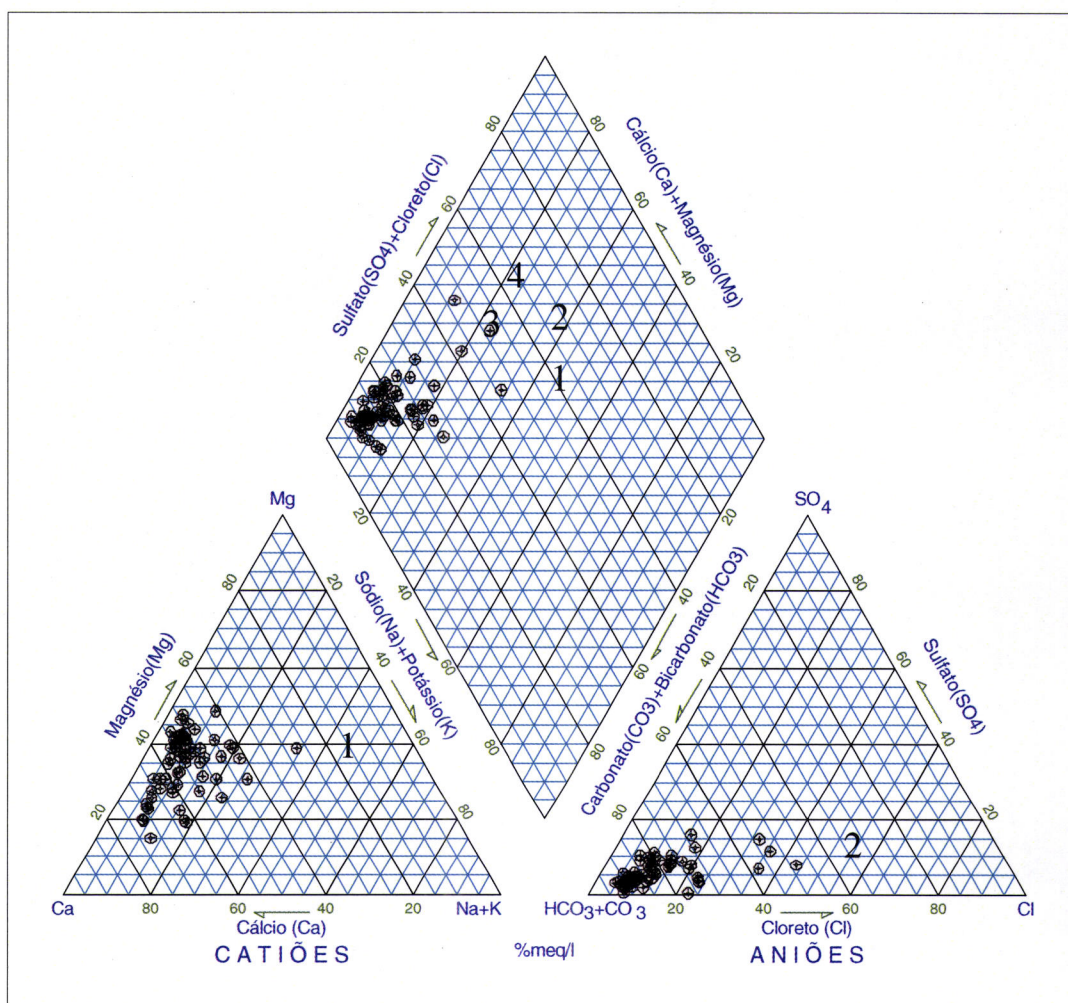


Figura 27.III - Diagrama de Piper - águas altas (in: ERHSA 2000)

Em estiagem, isto é, no que respeita águas baixas, apenas dois pontos de água se destacam da fácies característica: (1) Machados e, (2) Cardeais. Em

ambos os casos as litologias atravessadas por estas captações (furos) justificam este resultado. Assim, a captação de Machados, intersecta os xistos do Pré-Câmbrico, em zona de importante falha, enquanto que o furo dos Cardeais se encontra a captar nos xistos do Silúrico Figura 28.III.

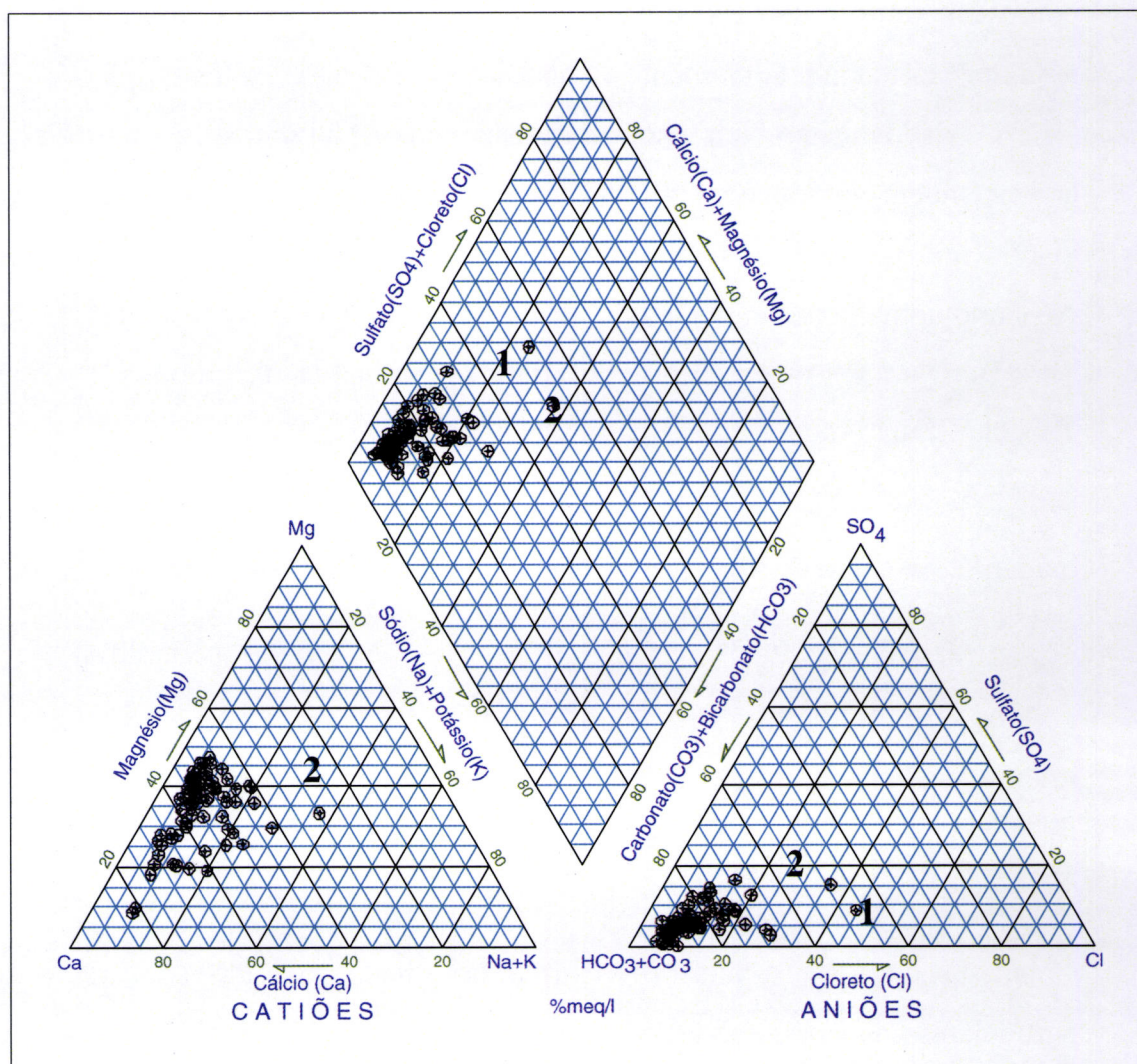


Figura 28.III - Diagrama de Piper - águas altas. (in: ERHSA 2000)

Em síntese, como seria de esperar, estamos na presença de águas claramente bicarbonatadas cálcicas a calco-magnesianas.

3.4 Qualidade da água para consumo humano

No que respeita ao controlo da água para consumo humano as entidades competentes (INAG e DRAOT – Alentejo) no âmbito da aplicação do disposto no Artigo 19.º do DL n.º 236/98 de 1 de Agosto, devem avaliar a qualidade dos recursos hídricos subterrâneos. Conforme o disposto no 18º Artigo do DL 46/94, como é natural, a satisfação das necessidades de água para consumo humano assume prioridade relativamente a outros usos.

Os dados disponíveis para o A4 respeitam a 10 pontos de monitorização e correspondem ao ano civil de 2001. Por todo o acervo de dados de qualidade disponíveis no A4 consideram-se estes 10 pontos da rede de qualidade para consumo humano perfeitamente representativos do A4.

Dos parâmetros exigidos pelo referido diploma legal, grupos G1, G2 e G3 Tabela 6.II, não são monitorizados os seguintes:

Grupo G1 - cor, sólidos suspensos totais, cheiro, carência química de oxigénio, oxigénio dissolvido e carência bioquímica de oxigénio;

Grupo G2 - zinco, substâncias tensoactivas, fenóis e azoto kjeldahl;

Grupo G3 – fluoretos, boro, arsénio, cádmio, crómio total, chumbo, selénio, mercúrio, bário, cianetos, hidrocarbonetos totais, pesticidas totais, substâncias extraíveis com clorofórmio e salmonelas.

Esta opção é tomada, de forma criteriosa, devido às características particulares das águas subterrâneas, não prejudicando assim, de forma alguma, a qualidade dos resultados obtidos, Tabela 6.III.

Tabela 6.III - Parâmetros estipulados no ANEXO V do DL n.º 236/98 de 1 de Agosto.

GRUPO DE PARÂMETROS	PARÂMETROS
G1	pH
	Cor
	Sólidos suspensos totais
	Temperatura
	Condutividade eléctrica
	Cloro
	Nitratos
	Cloratos
	Fosfatos
	Carbeto químico de oxigénio (CQO)
	Oxigénio dissolvido
	Carbeto biológico de oxigénio (CBOB)
	Azoto amoniacal
	Coliformes totais
	Coliformes fecais
G2	Ferro dissolvido
	Manganês
	Cobalto
	Zinco
	Sulfatos
	Substâncias tóxicas
	Fenóis
	Azoto Nitrato
	Estreptococos fecais
	Fluoretos
G3	Boro
	Ársénio
	Cádmio
	Cromo total
	Cromo
	Selénio
	Molibdénio
	Bário
	Cloratos
	Hidrocarbonetos dissolvidos e emulsificados
	Hidrocarbonetos aromáticos polinucleares
	Pesticidas totais
	Substâncias extraíveis com clorofórmio
	Sabonetes

	Medido
	Não Medido

Para além dos parâmetros previstos no Anexo V do referido DL são medidos ainda: nitritos, bicarbonato, cálcio, magnésio, sódio, potássio, alumínio e sílica, sem dúvida, considerados relevantes para uma adequada caracterização e avaliação da qualidade da água subterrânea.

Nesta classificação, segundo a referida lei, consideraram-se os valores máximos recomendados (VMR) e os valores máximos admissíveis (VMA).

Em conformidade com a estabilidade química que normalmente caracteriza as águas subterrâneas, e em conformidade com as boas práticas seguidas pela generalidade dos países, a periodicidade da amostragem é semestral, com uma

campanha na estação de águas altas, entre Abril e Maio e outra na estação de águas baixas, entre Setembro e Outubro.

A Figura 29.III representa a classificação das águas (A1, A2 e A3) no que respeita ao A4.

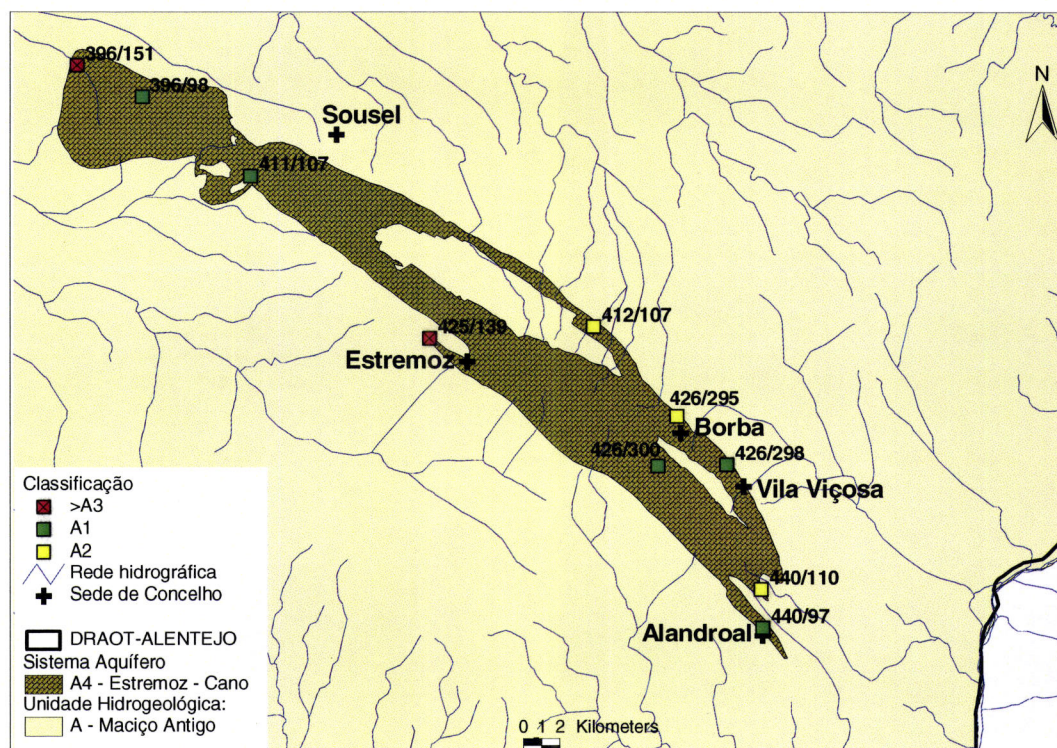


Figura 29.III - Rede de vigilância de águas subterrâneas no sistema aquífero A4 – Estremoz – Cano.

Assim, a qualidade da água do A4 classifica-se, na sua generalidade, como A1. Os parâmetros responsáveis pela classificação >A3 dos pontos 396/151 e 425/139, são, respectivamente, a condutividade eléctrica e os nitratos que, no primeiro caso excede o VMR e no segundo o VMA, Gráficos 2.II e 3.II. As causas, poderão ser, no primeiro caso contaminação orgânica, ou eventualmente causas naturais, e no segundo actividade agrícola.

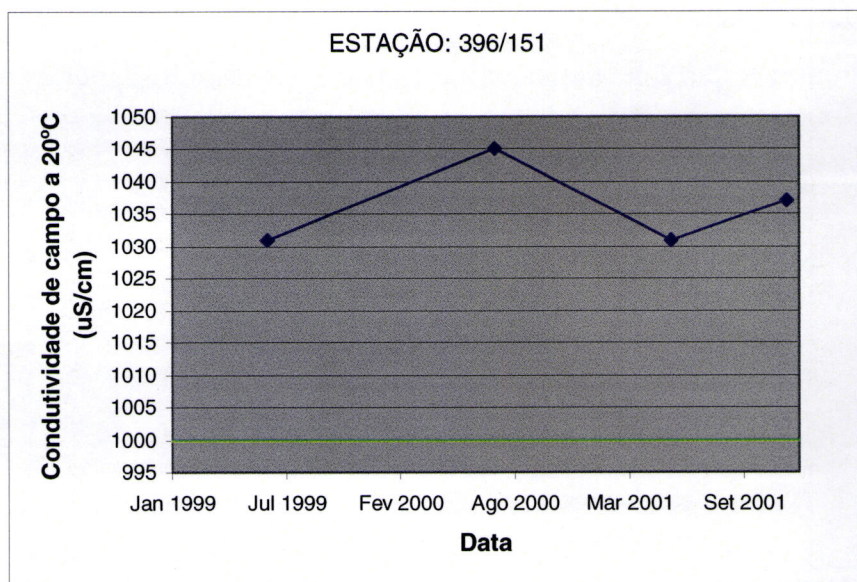


Gráfico 2.III - O ponto 396/151 apresenta persistentemente uma condutividade elevada.

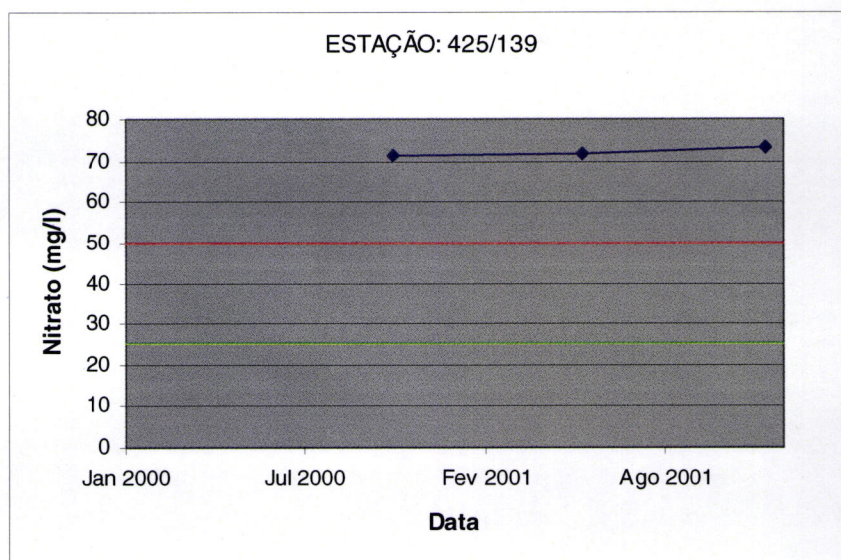


Gráfico 3.III - O ponto 425/139 apresenta nitidamente um teor de nitratos acima do VMA

Os parâmetros pH e azoto amoniacal justificam a classificação A2 dos pontos 440/110 e 426/295. Todos os restantes parâmetros analisados cumprem o disposto para a classe A1.

Por tudo isto pode-se concluir que apesar de toda a carga que o A4 sofre, salvo algumas exceções, mantém uma qualidade da água bastante aceitável.

Como noutros exemplos o A4 mostra que, apesar da carga cada vez maior, os sistemas naturais têm uma considerável capacidade de auto-depuração.

IV. O CICLO DA ÁGUA NO A4

1. Usos da água

A água é só uma. Esta curta afirmação, gasta e bastante usada, é talvez a expressão que em termos do ciclo da água melhor traduz a importância de agir localmente em prol do todo – o ciclo da água. Isto é, a gestão ou uso local/regional da água contribui inevitavelmente, positivamente para a sustentabilidade do ciclo da água e negativamente para a sua rotura – problemas quantitativos como a sobreexploração e qualitativos como a contaminação.

A água determina a qualidade de vida das populações, o abastecimento de água, a drenagem e tratamento de águas residuais, com forte impacto na saúde pública e no bem estar. A água dita o desenvolvimento de uma região, a geografia da pobreza está associada à carência de água.

Perdeu-se a consciência do ciclo da água: a água não é mais do que qualquer coisa barata, que não valorizamos, chega-nos pela torneira e escoar-se pelo ralo. Para o cidadão comum isto é a água.

O desenvolvimento parece configurado para consumos e utilizações cada vez mais insaciáveis. Tem havido sempre forma de construir mais uma barragem ou um furo que, em tempo, resolve as necessidades imediatas. E depois? O ciclo global da água é algo mais que um mecanismo hidráulico de bombeamento e descarga, é um sistema vivo e vulnerável. E isto não é um tema só para alguns, diz respeito a todas as actividades económicas e cidadãos (Cupeto, 2001 e Cupeto, 2003).

A análise do ciclo de vida da água no A4, entre outras, procura mostrar a necessidade de evoluir de uma mera política hidráulica para uma política com vista ao uso sustentável da água.

A distribuição das actividades económicas relevantes para a gestão dos recursos hídricos, quer pela quantidade de água que utilizam, quer pela qualidade

de água que exigem, centram-se, essencialmente, na agricultura de regadio, no abastecimento às populações, no turismo e na produção de energia eléctrica. Segundo o Plano Nacional da Água, constata-se que a agricultura é claramente o maior utilizador de água em Portugal, com um volume total de cerca de $6\,550 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ (87% do total), contra $570 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ no abastecimento urbano às populações (8% do total) e $385 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ na indústria (5% do total). Já no que respeita aos custos efectivos de utilização da água para os diversos tipos de utilização, verifica-se que o abastecimento urbano é o mais relevante com $875 \times 10^6 \text{ €/ano}$, correspondendo a 46% do total, seguido da agricultura com $524 \times 10^6 \text{ €/ano}$, 28% do total, e da indústria com $484 \times 10^6 \text{ €/ano}$, 26% do total.

Destes dados pode-se inferir, com clareza, que qualquer acção no sentido do “uso eficiente da água” terá que passar pelo sector da agricultura, e que para a sua melhor gestão financeira é essencial particular atenção ao abastecimento público (Cupeto, 2003; Pinheiro *et al*, 2003; Rijo, 2003; Santos, 2003; Serralheiro, 2003.).

Também segundo o PNA as perdas de água por ineficiência das diferentes utilizações assumem valores bastante elevados, designadamente na agricultura onde se anda na ordem dos 80% de perdas. Sabendo, desde logo, que este grande desperdício não tem custos apenas no ciclo da água mas também um significativo custo económico, designadamente energético, sector onde Portugal importa cerca de 90% da energia consumida, o significado deste número é de facto muito pesado e deve-nos levar a pensar seriamente na melhor eficácia do uso da água.

O Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA), começa claramente por apontar a necessidade urgente de usar melhor a água, optimizando a utilização deste recurso (eficiência de utilização), sem pôr em causa os objectivos pretendidos (eficácia de utilização) ao nível das necessidades vitais, da qualidade de vida e do desenvolvimento sócio-económico.

A água como um factor essencial para o desenvolvimento sócio-económico do País, deve ser considerada um recurso estratégico e estruturante, tendo necessariamente que se garantir uma elevada eficiência do seu uso, o que deve

corresponder a uma opção estratégica na política portuguesa de gestão de recursos hídricos (PNUEA, 2001).

As razões que se apontam para sustentar este objectivo estratégico são várias e o mesmo documento refere:

1. “Imperativo ambiental, pela necessidade de uma crescente consciencialização da sociedade de que os recursos hídricos não são ilimitados e que portanto é necessário protegê-los e conservá-los. Um esforço de aumento da eficiência traduz-se evidentemente numa redução de caudais captados e portanto de maior salvaguarda dos recursos.

2. Necessidade estratégica ligada às disponibilidades e reservas de água no País, na medida em que, embora à escala nacional e anual Portugal não tenha graves problemas de escassez de água em situação hídrica normal – apenas as bacias das Ribeiras do Algarve, Ribeiras do Oeste, Sado, Lis e Leça estão sujeitas a maior stress hídrico (PNA) -, podem no entanto ocorrer situações críticas de seca, sazonais ou localizadas. Estas situações podem ser de carácter quantitativo, resultantes por exemplo de períodos de maior escassez hídrica, ou de carácter qualitativo, com redução das disponibilidades de água com a qualidade necessária, resultante por exemplo da poluição. Um esforço de aumento da eficiência traduz-se evidentemente numa redução de caudais captados e de poluição provocada, contribuindo para não delapidar as disponibilidade e reservas estratégicas de recursos.

3. Interesse económico a nível nacional, na medida em que as poupanças potenciais de água correspondem a um valor muito relevante, estimado em cerca de 0,64% do Produto Interno Bruto nacional.

4. Interesse económico a nível do tecido empresarial, na medida em que a água é um importante factor de produção em numerosos sectores de actividade económica e a minimização dos encargos – através da maior eficiência da sua utilização - aumenta naturalmente a competitividade das empresas nos mercados nacional e internacional.

5. Corresponde a um interesse económico a nível das entidades gestoras, através de uma maior racionalidade de investimentos, na medida em que permite um melhor aproveitamento das infra-estruturas existentes, minimizando ou mesmo evitando em alguns casos a necessidade de ampliação e expansão dos sistemas de captação de água para abastecimento e de transporte e tratamento de águas residuais, para acompanharem o desenvolvimento urbano, agrícola e industrial, com a única preocupação de se garantir a procura pelos utilizadores. Note-se que as previsíveis perdas directas para as entidades gestoras resultante da diminuição expectável de vendas de água podem ser pelo menos parcialmente recuperadas através da redução de perdas nos sistemas públicos, que atingem valores preocupantes.

6. Económico a nível dos cidadãos, na medida em que permite uma redução dos encargos com a utilização da água - devido ao menor volume consumido e à eventual descida de escalão - sem prejuízo da qualidade de vida do seu agregado familiar e da salvaguarda da saúde pública.

7. Obrigações do País em termos de legislação comunitária, nomeadamente da Directiva Quadro, em termos da conservação da água e de crescente aplicação de custos reais no uso da água, e da Directiva IPPC, no relativo à obrigação

de utilização das melhores técnicas disponíveis nas unidades mais relevantes de diversos sectores industriais.”

Só pela leitura destes sete pontos se percebe que, além de o diagnóstico estar feito, sabe-se exactamente o caminho a seguir. Depois disto falta o mais importante: implementar sabendo que a água além de recurso finito é também um importante ecossistema e, além disso, constitui o principal meio receptor.

No que respeita ao caso de estudo qualquer destes sete pontos tem grande aplicação à situação regional do A4, senão vejamos, em particular:

- i. o A4 tem grande importância regional no que respeita ao abastecimento público e ao suporte das actividades económicas. Na quase totalidade das situações pode ser considerado como única origem de água;
- ii. sem dúvida que o A4 deve assumir uma particular importância no contexto de estratégia regional da água e, também por isso, é essencial a sua boa gestão e utilização;
- iii. uma gestão e uso mais eficaz traduzir-se-á em grandes vantagens competitivas para as empresas da Zona dos Mármorez (ZM), hortas de Borba e Estremoz, vinhas de Borba e Estremoz, olivais de Borba, Estremoz e Sousel, e regadios de Cano;
- iv. uma mais eficaz distribuição da água doméstica é da maior importância para as Autarquias, no caso de Sousel para as Águas do Norte Alentejano e em Borba as Águas do Alentejo Central.

2. Utilização da água no A4

A escala regional a que se desenvolve este trabalho leva-nos a considerar as fronteiras do o Sistema Aquífero Estremoz-Cano (A4) como o limite da análise do ciclo da água. Na prática não é mais que o ciclo da água no sistema aquífero em estudo nas suas vertentes quantitativa e qualitativa. É nestas circunstâncias que assume particular importância a utilização da água a partir da origem, Aquífero Estremoz-Cano (A4).

Isto é, "quanto e como"? Quanta água se consome? Como é usada?

Não importa só quantificar consumos mas também saber como é usada, e rejeitada a água na área de influência do sistema aquífero.

A quase totalidade da água consumida na área correspondente a este Sistema Aquífero tem origem subterrânea. Estão identificadas apenas algumas albufeiras no núcleo xistento do anticlinal e no Lameirão (Cano) para satisfazer necessidades da actividade agrícola. Mesmo assim a reserva superficial do Lameirão tem a sua origem na descarga do aquífero em águas altas. Aliás, a construção da barragem, na zona limítrofe nordeste do sector de Cano do sistema aquífero, resultou da evidência da abundante descarga natural superficial do aquífero em águas altas que levou o proprietário, agricultor, a desejar armazenar esse excedente para utilização na estação estival , Figura 1.IV



Figura 1.IV - No Lameirão, em segundo plano vê-se a albufeira que é mantida pela descarga de água subterrânea.

É comum ainda, a construção de pequenas albufeiras para acumulação de água captada através de furos. No sector de Cano, onde os níveis subterrâneos atingem frequentemente cotas sub-superficiais, é vulgar a construção de charcas

com a dupla função de captação/armazenamento. São conhecidos vários exemplos de sucesso, Figura 2.IV.



Figura 2.IV - Na zona de Cano, em plena época estival este tipo de estruturas hidráulicas (charcas) sustentam extensas áreas de regadio.

A importância destas charcas, sobretudo no período estival, vai muito além da mera reserva de água, têm um peso ecológico muito grande. Também em largos períodos invernis em que o nível piezométrico “inunda” vastas áreas da planície de Cano têm grande importância ecológica. Não se conhece nenhum estudo que aprofunde a matéria mas qualquer simples visita ao local nesses períodos torna evidente o valor ecológico “desta água”, designadamente, para a avi-fauna.

O abastecimento público dos Concelhos de Sousel, Estremoz, Borba, Vila Viçosa, Alandroal é garantido com água proveniente do Sistema Aquífero. Sem dúvida que este é o principal e mais importante uso da água proveniente deste sistema aquífero.

Embora só se tenham identificado os principais usos de aproximadamente metade dos pontos inventariados, é notória a importância das actividades agro-pecuárias como os maiores consumidoras de água, Figura 3.IV, como se passa no resto do país.

Outro sector da actividade económica, que interfere bastante no ciclo da água é o sector das rochas ornamentais – sub-sector extractivo. Esta interferência não corresponde a consumos elevados mas antes a outro tipo de relação. Este é um uso essencialmente não consumptivo. Como se sabe, **“a água é o principal inimigo do mineiro”**, os trabalhos mineiros exigem condições que obrigam ao permanente rebaixamento do nível piezométrico, embora a quantidade de água usada não seja, porém, significativa.

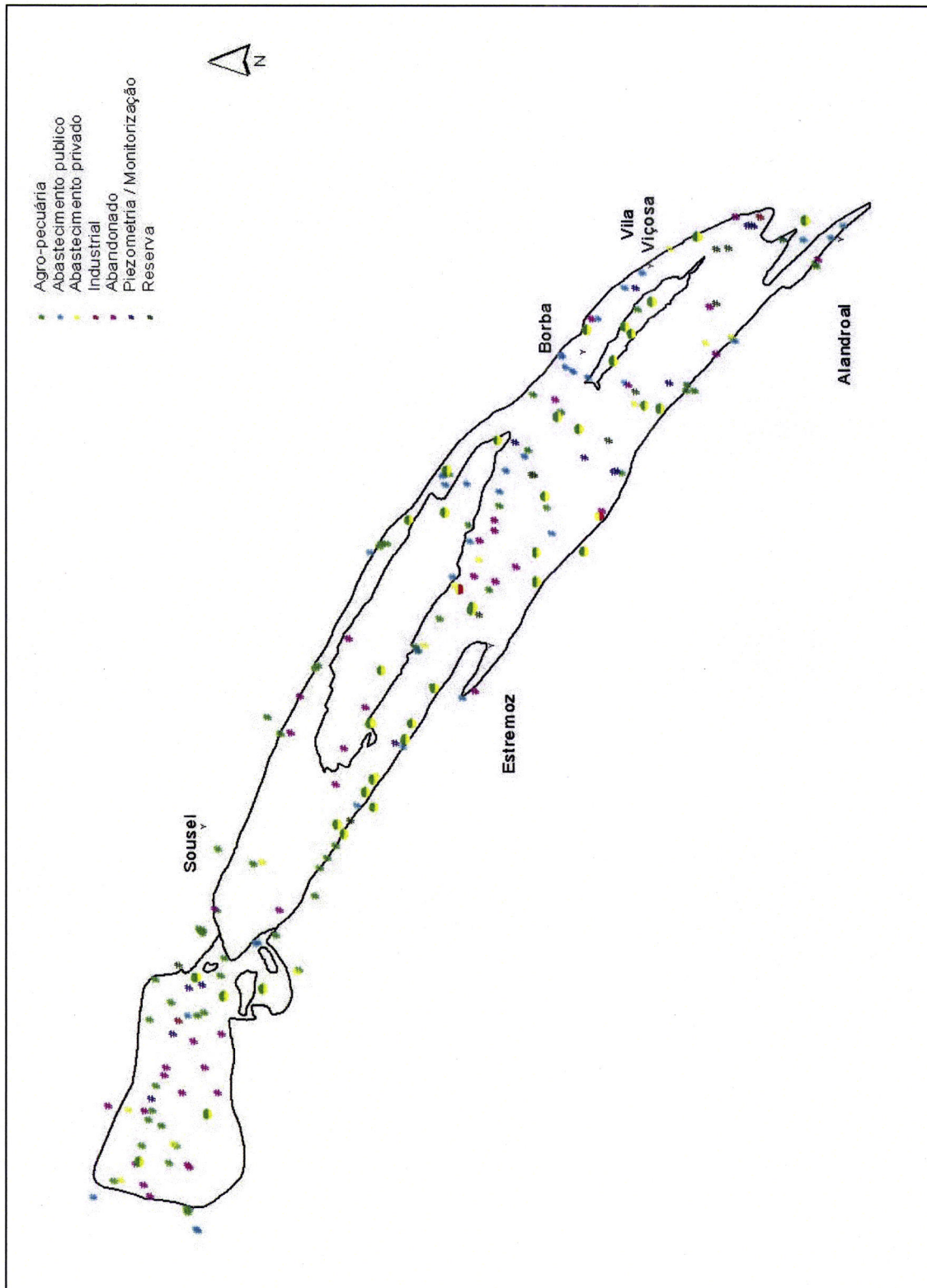


Figura 3.IV - A utilização da água no A4 não é diferente da do país. A elevada percentagem de furos abandonados, sobretudo no sector de Canó, é parcialmente aparente. Na estação seca captações são afectas a regadios (INAG 1998).

No que respeita ao processo de transformação a prática de utilização da água em ciclo fechado é generalizada. Assim, mesmo que alguns dos sistemas tenham coeficientes de eficiência baixos os consumos relativos deste sub-sector das rochas ornamentais não é significativo. A Tabela 1.IV e a Figura 4.IV podem, de alguma forma, ser representativos do universo de utilizações das captações existentes no A4.

Tabela 1.IV - Tipo de usos das captações de água subterrânea (inventário do ERHSA até 2000), considerando 409 pontos de água – cerca de 50 % do total inventariado.

Não identificado	195	Abastecimento Privado	15	Reserva	11
Agro-Pecuária	58	Abandonado	37	Agro-Pecuária + Doméstico	39
Abastecimento Público	35	Monitorização	14	Abastecimento Privado e Indústria	5

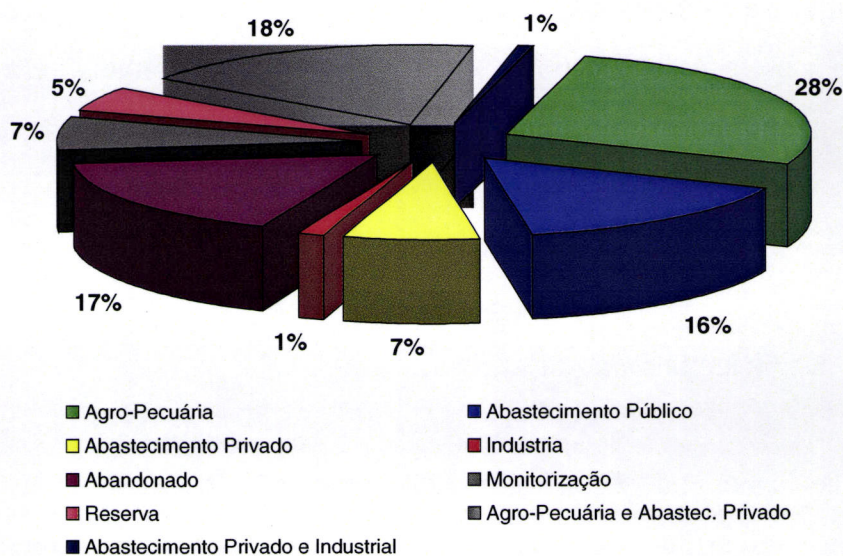


Figura 4.IV - Representa-se os usos dos pontos de água inventariados. Como é natural os valores esperados, a partir da média nacional, são um pouco distorcidos. (in: ERSHA, 2000)

3. A água na Indústria do Mármore na região de Vila Viçosa

A água apresenta-se, perante a actividade mineira, como um elemento que pode ter significados controversos: se por um lado, representa um aspecto negativo (condicionando, p.e., riscos geotécnicos), por outro, revela-se fundamental para o desenvolvimento laboral e para o normal progresso da lavra.

Desta forma, o tratamento dos dados inerentes à utilização local dos recursos hídricos, revela-se de extrema importância, na medida em que poderá ajudar a compreender o comportamento hidrogeológico regional, e logo, ajudar a traçar medidas para a correcta gestão da água.

Neste sentido, com base em inquéritos efectuados junto dos responsáveis pela indústria extractiva (em número de 18) e pela indústria transformadora (em igual número), na zona de Vila Viçosa, conseguiu-se atingir alguns valores quantitativos em relação: às origens da água utilizada, ao tipo de circulação a que se encontra sujeita e a outras utilizações a que a mesma possa ser submetida.

As respostas adquiridas por Costa (1997) foram tratadas em termos percentuais, encontrando-se no ponto seguinte as tabelas-síntese da informação obtida.

3.1 Origens da água utilizada

Como se sabe, na Zona dos Mármoreos o escoamento da água é essencialmente subterrâneo devido à fracção da precipitação directamente infiltrada e à existência de fracturas e cavidades cársticas que constituem dispositivos de infiltração escoamento. Apesar de na área da formação carbonatada de Estremoz existirem alguns cursos de água com regime sazonal, o padrão de drenagem é essencialmente criptorreico, ou seja, a grande maioria do escoamento de água processa-se no subsolo.

O movimento da água nos aquíferos é regido por parâmetros característicos de cada formação geológica que condicionam a capacidade de armazenamento e condução da água e, por outro lado, pelas denominadas variáveis de tempo (por exemplo, variação dos potenciais hidráulicos devido a recargas ou a saídas de água no sistema). É pois fácil de entender que a actividade mineira afecta tanto as características intrínsecas do aquífero como as variáveis de estado que estão na origem do seu funcionamento.

Do ponto de vista dos recursos hídricos subterrâneos pode considerar-se que a série carbonatada paleozóica é limitada, inferiormente e superiormente, por litologias que apresentam menor aptidão hidrogeológica (Cupeto, 1991).

As formações carbonatadas apresentam características hidrogeológicas muito particulares, não só por terem um comportamento hidrodinâmico muito complexo, cuja interpretação tem sido tentada através de numerosos modelos que conceptualmente pressupõem a existência de um meio com “porosidade dupla”.

Como resultado das condições hidrogeológicas impostas pela presença de rochas carbonatadas, a densidade de drenagem superficial é baixa. Assim, o abastecimento ao sector faz-se por furos, normalmente construídos para esse efeito nas imediações da pedreira. Estas captações são construídas sem qualquer critério hidrogeológico e não têm relatórios. Só mais recentemente, face à lei, começaram a ser licenciadas.

A designada “água de fundo de pedreira” constitui, sem dúvida, uma origem muito comum para os trabalhos mineiros. Por motivos óbvios estes sistemas são muito versáteis e móveis pela adaptação que exigem. Só este facto e prática evidenciam a impossibilidade de se realizar, algum dia, qualquer tipo de controlo ou monitorização da água usada, Figura 5.IV.

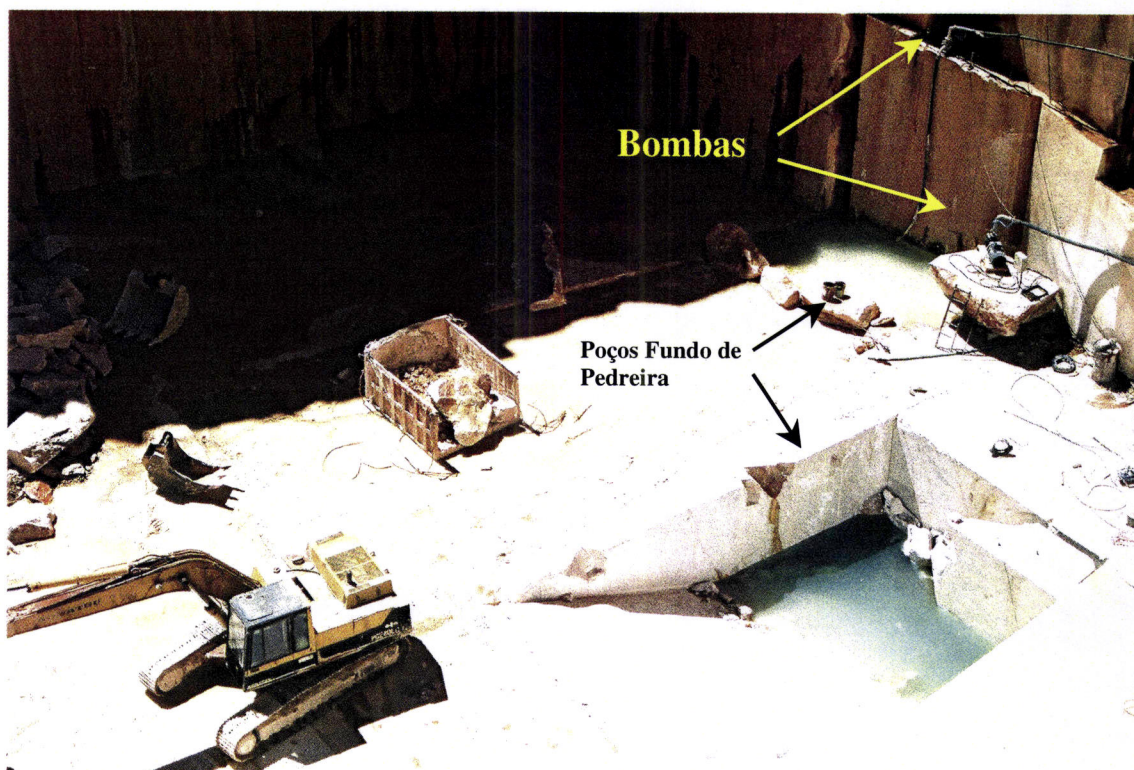


Figura 5.IV - Este é um bom exemplo do que se passa em muitas pedreiras no que respeita à água.

A existência, pelo menos temporária, de consideráveis reservatórios de água em cavas abandonadas nas imediações de unidades activas leva a que esta água seja usada, nalguns casos, nas actividades mineiras. Provavelmente esta será a origem de água mineira de características mais sustentáveis, já que pressupõe a aplicação da prática de reutilização.

Em muitas outras situações, como seria de esperar num sistema de forte anisotropia como este, a água é escassa e tem que ser transportada a partir de origens externas à pedreira. Os trabalhos mineiros têm que ser apoiados a partir de depósitos, Figura 6.IV.



Figura 6.IV - Lado a lado a vala de drenagem - de pedreiras com excesso de água – e o depósito a que outras têm que recorrer.

Assim, tendo em conta as necessidades de água para a actividade mineira, julgou-se por bem tentar saber qual a importância de cada uma das origens de água utilizada nos trabalhos mineiros, do que resultou a informação contida na Tabela 2.IV.

Tabela 2.IV - Origens de água da actividade mineira (%)

	Furos	Rede	Nascente	Captação Directa *	Água Superf. Armazenada	Não resp.
Pedreiras	5,6	0	66,67	16,67	11,06	0
Transformadoras	66,67	22,22	0	0	5,56	5,55

O recurso às “nascentes de fundo” – surgências na cava - é prática comum na grande maioria das pedreiras locais. Contudo, também se recorre à água armazenada de forma natural em pedreiras abandonadas (localizadas a curta distância), Figura 7.IV, e à canalização de água superficial (p.ex. de ribeiras, ou

* designação atribuída para a água que se encontra armazenada em pedreiras abandonadas.

na maioria das vezes canais de descarga) para reservatórios localizados junto às operações de extracção.

Em relação à indústria transformadora, predomina o recurso a captações profundas (furos), utilizando-se também, com alguma importância, água da rede de abastecimento domiciliário.

3.2 Sistemas de circulação da água

Conhecer o tipo de circulação a que a água se encontra submetida, é fundamental para se poder perceber e quantificar as perdas verificadas.

Desta forma, e mais uma vez tendo em conta as 18 pedreiras e 18 transformadoras que foram sujeitas a inquérito, resultaram os seguintes dados do Tabela 3.IV.

Tabela 3.IV - Sistemas de circulação de água utilizados na indústria extractiva e transformadora
(%)

	Circuito Aberto ¹	Circuito Fechado ²	Circuito Misto ³	Não resp.
Pedreiras	5,6	22,2	66,6	5,6
Transformadoras	0	88,9	0	11,1

Normalmente, à boca da pedreira, existem depósitos que permitem a recirculação da água, ou seja, a água é utilizada no corte e perfuração do mármore, é canalizada para o depósito, e depois volta a ser usada. Este sistema verifica-se em todas as pedreiras que tenham monolâminas a trabalhar.

As pedreiras que utilizam a água acumulada no fundo da exploração, e que não têm monolâminas dispõem, geralmente, de um sistema aberto, havendo nestes casos, grandes perdas de água.

¹ circuito em que não há recirculação de água

² circuito em que há recirculação de água

³ sistema fechado para as monolâminas, que se encontram à boca da pedreira, e sistema aberto para a extracção do mármore

A maioria utiliza um sistema misto, ou seja, apresentam um sistema fechado para as que têm monolâminas à boca da pedreira, e um sistema aberto para as máquinas que efectuem a o corte do mármore na frente de exploração.

Em relação à indústria transformadora, predomina francamente o circuito fechado, havendo portanto, menores perdas de água.

3. 3 Outras utilizações

A água captada para utilização na actividade mineira pode contudo, ter outras finalidades, das quais se podem destacar: a rega, o uso em infra-estruturas sociais (como instalações sanitárias, refeitórios, etc.), lavagem de maquinaria e equipamento, ou até mesmo descarga directa. Para esta abordagem contemplou-se ainda o uso misto ao qual se encontra inerente mais do que um tipo de utilização, Tabela 4.IV.

Tabela 4.IV - Outras utilizações da água captada na actividade mineira (%)

	Rega	Infra-estruturas Sociais	Lavagem de Maquinaria e Equipamento	Descarga Directa	Misto	Não resp
Pedreiras	0	5,6	0	94,4	0	0
Transformadoras	5,6	44,4	5,6	22,2	16,7	5,5

Dos resultados obtidos, constata-se que grande parte da água bombada nas pedreiras sofre descarga directa, não tendo, portanto, qualquer outro tipo de aproveitamento. Confirma-se portanto um uso não consumptivo. Tal facto reflecte uma questionável, inexistente, gestão dos recursos hídricos, que se traduz na perda de grandes caudais.

Estes caudais poderiam responder a algumas outras necessidades, como por exemplo:

- i. utilização nas unidades transformadoras, evitando-se o recurso a captações próprias que são na sua grande maioria profundas, ou, pior ainda, ao consumo de água da rede de abastecimento público;
- ii. utilização pública (com condições especiais, p.ex. lavagem de ruas, rega de espaços verdes, etc.);
- iii. recarga artificial do aquífero em áreas não afectadas e/ou armazenamento em condições especiais;
- iv. utilização agro-pecuária, entre outras.

Por outro lado, na indústria transformadora, verifica-se um maior aproveitamento, uma vez que a água é utilizada com várias outras finalidades para além dos próprios processos laborais, predominando a utilização nas infra-estruturas sociais existentes na área afecta à respectiva actividade.

3.4 Água e a Actividade Mineira – impacte no ciclo da água (impacte ambiental)

Não é demais reafirmar que a água é e sempre foi o principal inimigo do mineiro. A relação água-mina assume particular relevância em factores tão importantes como os económicos, ambientais, sociais e segurança.

Desde sempre o mineiro aprendeu a conviver com a água, muitas vezes de forma imprevista e não controlada. Aliás é a dificuldade de previsão e cálculo em meios normalmente heterogéneos e anisotrópicos que constitui a principal dificuldade da gestão mina-água.

Algumas pedreiras podem-se considerar mais como explorações de água do que qualquer outra coisa tal são os caudais envolvidos (Cupeto *et al*, 1994a). Assim são algumas pedreiras da Zona dos Mármore, Figura 7.IV.

Qualquer abordagem ao tema proposto passa inevitavelmente por uma caracterização climática cuidada, como já foi referido esse esforço de caracterização foi feito. A esta caracterização deve-se associar desde logo a hidrologia e a hidrogeologia do local.

A forma como se distribui a precipitação ao longo do tempo tem repercussões na actividade mineira que ultrapassam o âmbito meramente técnico. A ocorrência de escorregamentos, escoadas de lama, queda de blocos e todos os tipos de problemas relacionados com a instabilidade de vertentes e taludes são condicionados pelo regime de precipitação. Este facto leva a que o entendimento das questões relacionadas com a água é essencial para um controlo no que respeita à segurança e risco, além, evidentemente, das questões que se prendem estritamente com a lavra.

Todos sabemos que a importância da interacção água-mina aumenta à medida que prossegue a lavra, isto é, com o tempo, a profundidade a que se realizam os trabalhos mineiros vai aumentando, o que obriga ao rebaixamento a cotas cada vez mais baixas levando a que o nível piezométrico seja progressivamente afectado. Assim, o conhecimento hidrogeológico de pormenor pode assumir particular importância. Devemos desde já lembrar que este conhecimento não dispensa, normalmente, antes aconselha, um acompanhamento de perto da lavra, Figura 8.IV.

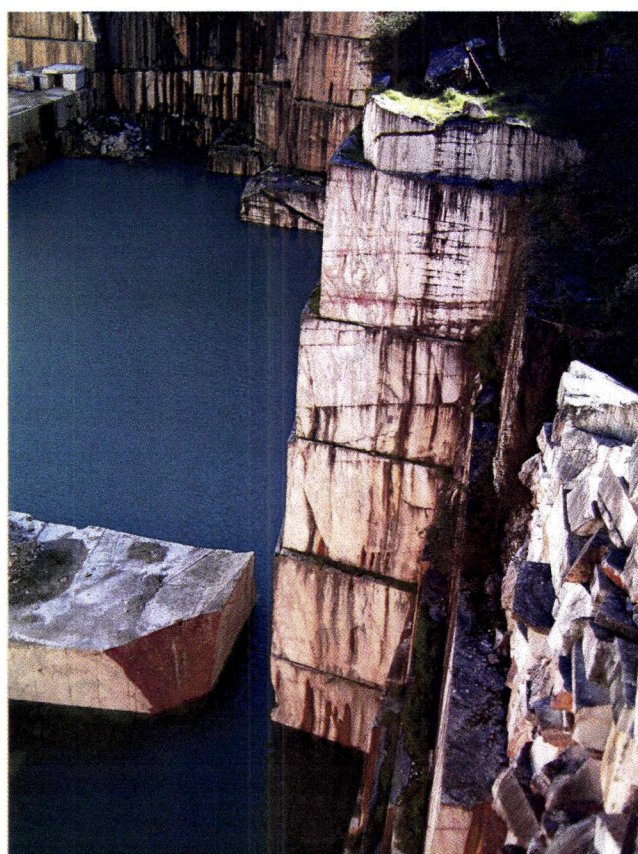


Figura 7.IV - Estas fotografias – a inferior de Luis Lopes, Universidade de Évora - foram tiradas no pico da estação baixa. Mesmo assim são grandes os volumes de água armazenados nalgumas cavas.

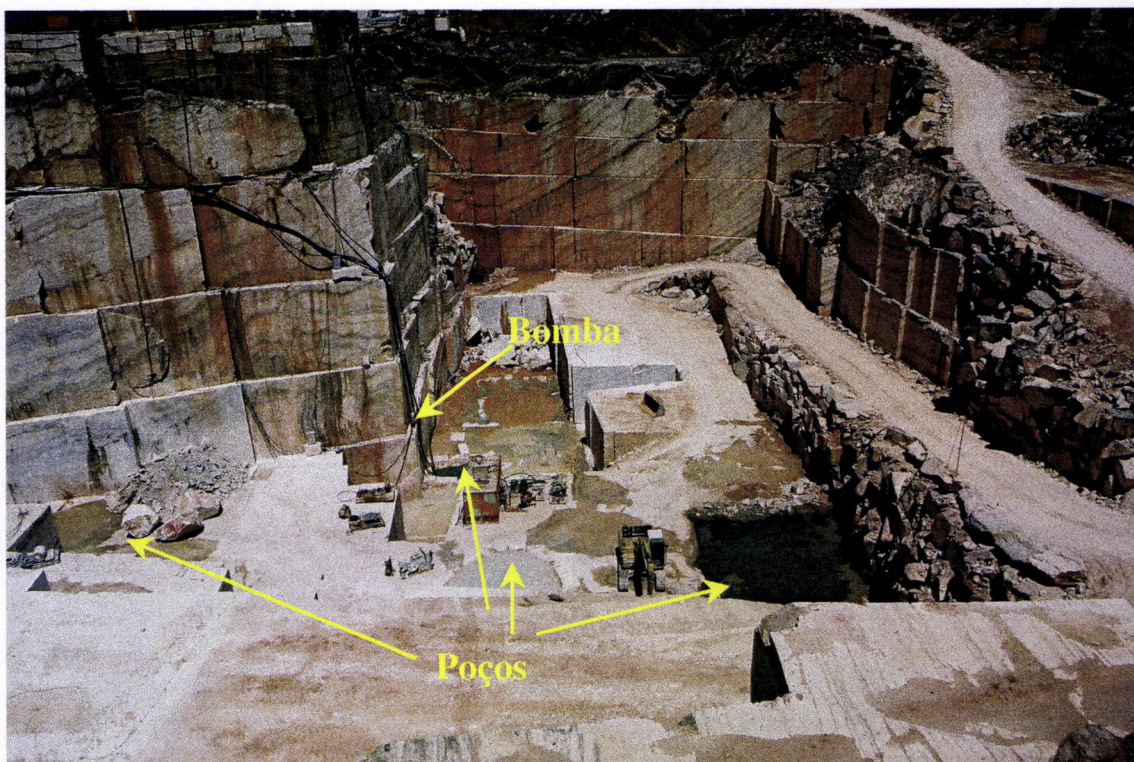


Figura 8.IV - Esta fotografia mostra bem o que é a complexidade da relação água – lavra numa pedreira com uma cava com mais de 60 m de profundidade: várias zonas de acumulação de água e um considerável aparato de bombas.

3.4.1 Caracterização sumária da água na actividade extractiva de mármore

Antes de mais é significativo saber que a utilização da água na extracção de pedra na ZM é essencialmente não consumptiva. A água é utilizada apenas no arrefecimento das ferramentas.

Na ZM as extracções fazem-se a céu aberto pelo sistema de poços por bancadas de espessura variável. Mais recentemente começaram, a título experimental, alguns trabalhos de extracção subterrânea. A evolução tecnológica e os processos utilizados durante a última década possibilitaram que se atingissem grandes volumes de extracção e que a progressão da lavra fosse muito mais rápida. Actualmente as pedreiras atingem, na maioria dos casos, profundidades da ordem dos 50-60 m, em alguns casos chegam a atingir os 80m.

Geralmente, e sem considerar outros factores relacionados com a estrutura geológica, como a compartimentação do maciço pelas discontinuidades, é a maiores profundidades que ocorrem os principais conflitos com a água. Assim, é de esperar que com o progresso da lavra este “conflito” se agrave o que significa custos económicos e ambientais no que respeita à água, e, consequentemente, maiores custos de extracção.

A água acresce de forma directa o custo da actividade extractiva de rochas ornamentais quando a cota de desmonte é inferior ao nível freático.

Todavia, sobretudo em meios fracturados, cárscicos, como o presente, a circulação da água nas rochas carbonatadas não se faz de forma uniforme, a permeabilidade varia de forma muito significativa em diferentes direcções pois os meios cárscicos são acentuadamente heterogéneos e anisotrópicos, Figura 9.IV.



Figura 9.IV - A intensa fracturação do maciço é um problema económico para a actividade, não só, pela pouco aproveitamento de pedra comercializável, como pelos custos associados ao saneamento da água.

A água movimenta-se sobretudo através da rede de fracturas e das cavidades cárscicas cuja dimensão tende a aumentar devido à dissolução da massa rochosa. Deste modo, existem pedreiras com gravíssimos problemas pelos elevados

caudais de água que emergem nas frentes de exploração, e outras em que não se colocam estas dificuldades, e que às vezes nem a água necessária para a lavra conseguem dispor. A variação do regime de escoamento numa frente de extracção, após um período de precipitação, não pode ser generalizada, depende, não só, das condições hidrogeológicas regionais mas também à escala da pedreira. É este último aspecto que impede generalizações e procedimentos comuns.

No que respeita a “boas práticas” não é portanto possível instituir um conjunto de regras que se possam indiscriminadamente aplicar à extracção de mármore no A4 atendendo à desejável boa relação água – mina.

A extracção da rocha a níveis cada vez mais profundos leva a que se atinja o nível piezométrico e, conseqüentemente se proceda à bombagem e descarga de água sem qualquer aproveitamento. Como se torna evidente este necessário mas desregulado procedimento induz significativas alterações na circulação subterrânea natural.

A presença da água nas frentes de extracção é uma constante, e a incompatibilidade entre os trabalhos mineiros e esta também.

A situação oposta também ocorre. Como se sabe, todo o processo de extracção se faz essencialmente por via húmida e em épocas de baixa precipitação existem problemas gravíssimos de falta de água para os trabalhos mineiros. Nestas alturas as captações usadas para outros fins, nomeadamente a agro-pecuária e o abastecimento público são também afectadas pelo rebaixamento que se verifica do nível piezométrico regional.

As particularidades geológicas do maciço faz com que os caudais presentes na frente de exploração possam ser diminutos se considerarmos a importância e a preservação de barreiras negativas naturais como são os filões de natureza básica (localmente conhecidos como *cabos reais*) ou outras intrusões vulcânicas existentes Figura 10.IV. Estas estruturas são, muitas vezes, incompatíveis com os trabalhos mineiros, o que leva ao seu desmonte e conseqüentemente à quebra do efeito “barreira negativa” e ao acesso de água à pedreira. A criação artificial destas barreiras, utilizando fracturas cársticas abertas com orientação adequada

poderia, nalguns casos, ser uma solução a considerar. A hierarquização do sistema e os custos da solução colocam sérias limitações à aplicação desta hipótese teórica.

No que respeita ao escoamento superficial os problemas ocorrem sobretudo em épocas de ponta (chuvas fortes), nas quais a erosão e a instabilidade dos taludes podem assumir aspectos significativos. Estas situações podem ser minimizadas com a adequada construção de canais de drenagem, revegetação de taludes e estabilização ou desmonte de zonas onde existam riscos de instabilidade de vertentes. O controlo do escoamento de águas internas e externas à exploração deve ser tida sempre em consideração (ITGE, 1992).

Por outro lado, os impactes resultantes da actividade extractiva nas águas subterrâneas podem reflectir-se, também, de forma indirecta a nível qualitativo. A habitual vulnerabilidade dos meios cársicos à poluição e à propagação de fenómenos de poluição nas águas subterrâneas agrava-se, logo na fase preliminar de prospecção. Devido à ripagem dos solos e vegetação como forma de acesso mais fácil, expedito e económico, ao maciço rochoso, alteram-se radicalmente as condições de infiltração e a vulnerabilidade do meio aumenta consideravelmente. A Figura 11.IV mostra claramente as “cabeças do mármore” expostas, conferindo ao sistema um poder de auto-depuração muito baixo.

Apesar do descrito, do ponto de vista qualitativo, o caso de extracção de rochas ornamentais e industriais não é de forma alguma dos mais gravosos da actividade mineira. Por acção directa na interface água-rocha-ar não ocorrem reacções que possam comprometer a qualidade da água. No entanto, não existe qualquer estudo que permita, por exemplo, avaliar o efeito das ferramentas de desmonte, em especial as de corte, na alteração da qualidade da água. Todavia, em nenhuma análise química se evidenciou algum efeito desta situação.

O arraste pela água de materiais finos é outra realidade que não está completamente avaliada na sua dimensão. Normalmente a água, carregada de finos, resultante da preparação das bancadas, corte dos blocos e outras operações, não tem qualquer tipo de tratamento antes de ser lançada em valas e linhas de água, Figura 12.IV.



Figura 10.IV - A existência de inúmeras intrusões vulcânicas condicionam não só a extracção de rocha como a circulação de água no maciço. (Foto: M^a João Figueiredo,Tterra)



Figura 11.IV - Com muitos anos de exposição, evidenciado pelo “envelhecimento da rocha”, este é um excelente exemplo de decapagem do solo como primeiro procedimento de prospecção.



Figura 12.IV - Água carregada de finos que em pouco tempo colmatam os canais e linhas de água facilitando os episódios de inundação e diminuindo a biodiversidade piscícola.

Não se conhece igualmente a dimensão dos impactes decorrentes de situações em que são criados focos de poluição pontual, como os gerados pelo derrame de óleo ou combustível das máquinas e equipamentos. De qualquer forma estas situações serão mesmo pontuais e só ocorrerão por acidente. A melhor garantia de que assim é traduz-se no facto de esse tipo de ocorrência por em causa o negócio porque o óleo mancha irremediavelmente a pedra.

3.4.2 Outras utilizações da água pela actividade mineira

Para além da problemática geral ligada à água na pedreira convém referir as outras situações associadas à actividade mineira, nas quais a água aparece como parte interessada.

3.4.2.1 Oficinas e serviços gerais

Para além das águas residuais com um perfil típico de efluentes urbanos e que portanto podem ser, sem problema, conduzidas para a rede de saneamento normal e seguirem para uma ETAR convencional, ou então para a mais provável fossa, devemos considerar os óleos das máquinas e equipamentos e águas de lavagens e outras.

Estes óleos usados são pois o contaminante mais importante associado à oficina e serviços gerais numa unidade extractiva. Desde logo os óleos devem ser armazenados e manuseados em local próprio para o efeito. A existência de uma bacia de retenção é o suficiente para garantir a diminuição de risco de acidente e estanqueidade dos pequenos escorrimentos que sempre ocorrem. Como medida cautelar e eficaz sugere-se a recolha dos óleos e a sua condução ao sistema de armazenamento e tratamento geral adequado. Esta recolha está regulada por lei e deve ser contratada a uma entidade certificada para o efeito.

3.4.2.2 Pré – transformação do mármore – monolâminas

A maioria das vezes, à boca da pedreira, os blocos, desde logo comercializáveis, são sujeitos a uma operação dita de beneficiação. Esta operação, realizada numa monolâmina, não é mais do que aparar o bloco. Como qualquer outro corte da pedra também este é realizado por via húmida, Figura 13.III. Lamentavelmente nem esta, nem qualquer outra operação unitária que utilize água, como quase todos os processos numa pedreira, possibilita a quantificação de consumos tipo. Isto é, cada operação, embora sendo a mesma, em cada situação tem consumos diferentes.

O procedimento mais aceitável económica e ambientalmente é a adopção de circuitos fechados. Sem discutir o estado de conservação e a eficácia destes sistemas de circulação e utilização (não consumptiva) da água, este procedimento é generalizado na ZM. Este sistema não só possibilita grande economia de significativos caudais como benefícios grandes ao nível dos caudais rejeitados. O

rejeitado normalmente é lançado sem qualquer tratamento, ou quanto muito com uma pré-decantação dos materiais finos em suspensão.



Figura 13.IV - À boca da pedreira o corte na monolâmina é dos trabalhos que mais água utiliza – fotografia Luis Lopes, UEv.

3.4.2.3 Aterros , escombrelras e “stocks” de blocos

Nestes ambientes os problemas relativamente à água, surgem essencialmente em alturas de chuvas fortes e são, sobretudo, a erosão e o arraste de materiais. Aqui não ocorre a dissolução de minerais acumulados em escombrelras ou stocks de minerais que contém, muitas vezes, materiais oxidáveis ou substâncias carbonosas.

É também na altura de chuvas fortes que os maiores riscos de instabilidade, e com eles os escorregamentos, ocorrem.

Nesse sentido deve ser acautelada a drenagem destes aterros, Figuras 14.IV e 15.IV.

Todavia, apesar de na Figura 14.IV se retratar um bom exemplo de estabilização da base do aterro, ela mostra também o que não se deve fazer em matéria de depósito de materiais em aterros: a heterogeneidade granulométrica sem qualquer critério provoca grande instabilidade. A mistura de solo com lamas (natas), sobretudo na época das chuvas conduz a fenómenos de arraste externo e interno (*piping*) levando a grande instabilidade dos taludes.

Com a recente lei de pedreiras (Decreto Lei n.º 270/2001 de 6 de Outubro) é necessário um “projecto de aterro” sujeito a licenciamento. Este procedimento legal inclui a referência à água. A questão começa logo com a base do aterro. De facto julga-se correcto e aconselhável a ripagem do solo de modo a assentar a base do aterro nas cabeças da rocha calcária. Esta boa prática encerra algumas vantagens:

- i. abaixamento da cota de implantação;
- ii. maior estabilidade;
- iii. obtenção de terra vegetal – eventualmente útil para actuações de recuperação paisagista e ambiental;
- iv. optimização da taxa de infiltração sob o aterro;
- v. minimização do risco de escorrências não controladas.



Figura 14.IV - A utilização de blocos não comercializáveis como muro de suporte é uma solução económica e eficaz na estabilização de aterros/escombreiras.



Figura 15.IV - Na ZM são comuns os aterros/escombreiras em situação de grande instabilidade, até sobre estradas nacionais.

3.4.2.4 Água associada à exploração

O movimento das máquinas e as amplas superfícies de material exposto leva a obtenção de águas escorrência com grande carga sólida. Este tipo de águas, à partida sem problemas de qualidade, podem ter alguma influência nefasta na colmatção da drenagem natural e provocar o acréscimo de fenómenos de inundação: Estrada Nacional nº 255, limítrofes de Borba.

Como medida cautelar fundamental, deve-se levar a exploração com uma corta que se considere os pontos de bombeamento de forma a diminuir o mais possível os caudais bombados. A exposição das zonas potencialmente sensíveis ao arraste de materiais em superfícies mínimas é outro procedimento que a programação da lavra deve prever. Nalgumas situações é mesmo aconselhável que essas áreas sejam cobertas com um material impermeável afim de diminuir o contacto com a água.

3.5 Usos alternativos

No ponto 3.3 já se abordou sumariamente este tema. A expressão “uso alternativo” pressupõe uma postura modernamente designada “sustentável”. O conceito encerra, desde logo, uma interessante prática, com vantagens económicas e ambientais inequívocas. Os excedentes, efluentes ou não, têm um potencial de utilização enorme. Se considerarmos que estamos num meio essencialmente rural e que as águas em causa não têm problemas de qualidade a utilização alternativa faz ainda mais sentido. Recordando que os grandes volumes de água mobilizada pela indústria extractiva respeitam a um uso não consumptivo, depois de recolhida e devidamente conduzida, sem necessidade de tratamento prévio, a água está em condições de ser utilizada. A descarga directa na linha de água, como acontece normalmente, sem qualquer perspectiva de utilização, parece não constituir a referida solução sustentável, já que essa água:

- i. tem maior risco de contaminação – mistura com águas superficiais contaminadas;
- ii. tem perdas por evaporação;
- iii. não corresponde à utilização de um caudal disponível.

Pior que tudo isto é a mistura destas águas com as do corte e tratamento da pedra. Estas, como já se disse, estão carregadas de finos e só por isso constituem um problema à qualidade ecológica das linhas de água.

Desde logo existem um conjunto de boas utilizações possíveis associadas à actividade extractiva que podem e devem possibilitar a utilização desta água. Alguns exemplos dessas utilizações podem ser:

- i. reutilização nos trabalhos mineiros ou em unidades transformadoras – em grande medida já praticado no primeiro caso;
- ii. rega dos caminhos de serventia evitando-se assim os grandes impactes associados às poeiras sobretudo resultantes do trânsito da maquinaria;
- iii. lavagem de veículos que constitui uma boa medida para o aumento da segurança dos próprios e de terceiros;
- iv. rega de viveiros dimensionados e constituídos visando a criação de plantas que venham a ser utilizados na recuperação e protecção;
- v. construção de lagos artificiais que constituam reservatórios de água para os mais diversos fins que vão desde a utilização agrícola ou pecuários.

Existem ainda um conjunto de outras utilizações exteriores ao sector das pedras naturais, todas elas com elevado mérito económico e ambiental:

- i. manutenção de caudais ecológicos em linhas de água e pegos;

- ii. rega de espaços urbanos ajardinados;
- iii. lavagens urbanas;
- iv. diluição dos efluentes urbanos tratados;
- v. planos de água de uso recreativo ou estético.

A recarga do aquífero pode constituir uma alternativa muito válida mas a requerer um estudo de pormenor e só possível num cenário de gestão integral do aquífero. As vantagens desta opção são:

- i. reposição de níveis piezométricos;
- ii. reforço das reservas disponíveis;
- iii. diminuição de perdas por evaporação;
- iv. maior protecção a potenciais agentes de contaminação quando comparamos com um armazenamento superficial.

Em síntese, a água drenada e o “efluente” da actividade extractiva de rocha ornamental na ZM deve ser considerada uma mais valia, provavelmente com estatuto de sub-produto. Por esta razão a gestão integrada do aquífero deve considerar esta parcela do sistema. Alguns dos aspectos a considerar são:

- i. maior eficácia da drenagem das zonas de extracção;
- ii. controlo e monitorização dessa drenagem;
- iii. melhores padrões de segurança;
- iv. prevenção das zonas inundáveis;
- v. melhoria da qualidade da água descarregada na linha de água;
- vi. melhor controlo dos caudais extraídos.

4. Descargas do Complexo Vulcano-Sedimentar* de Estremoz, pela actividade mineira

Para obter uma aproximação quantitativa da água bombada e conduzida para fora do sistema aquífero por acção directa do actividade extractiva foram identificados criteriosamente os locais onde algumas medições de caudal, com o recurso a um molinete, pudessem ser significativas e representativas de consideráveis bacias de drenagem. A localização geográfica das estações de medição de caudal, encontra-se na Figura 16.IV.

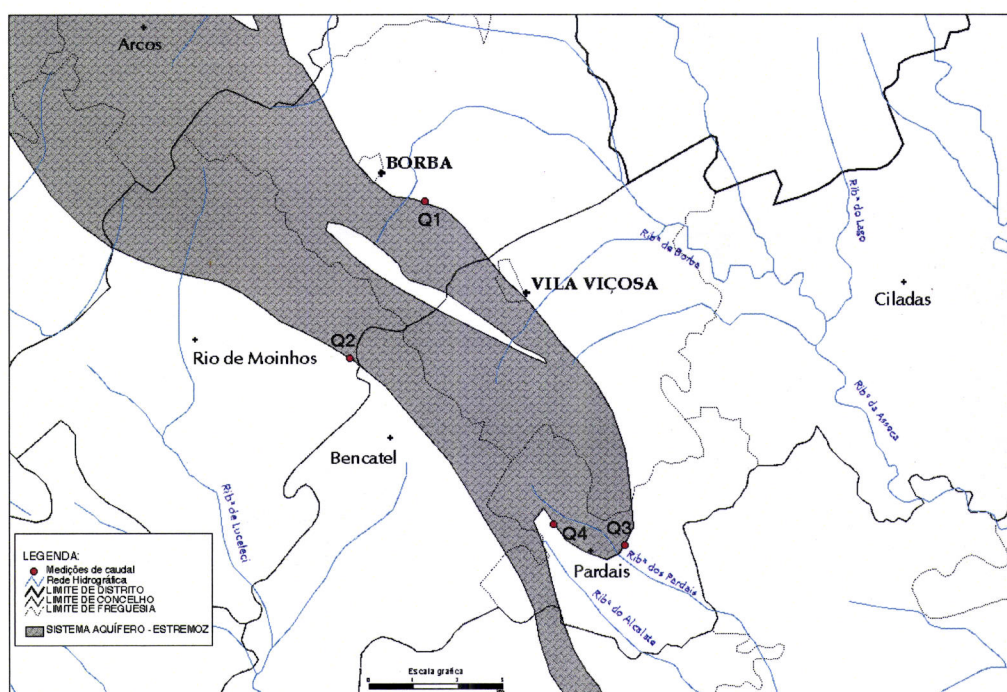


Figura 16. IV - Pontos de medição do caudal proveniente da actividade mineira (fecho SE do complexo vulcano-sedimentar de Estremoz) (INAG 1997)

A quantificação da água que sai do Complexo Vulcano - Sedimentar, teve como base a água retirada e conduzida para fora do sistema aquífero pela indústria extractiva, daí a razão pela qual as medições tenham incidido na terminação sudeste do anticlinal, onde a existência de pedreiras é significativa e preponderante.

* rochas carbonatadas.

A selecção dos locais para medição do caudal, foi efectuada tendo em atenção os seguintes critérios:

- i. o limite litoestratigráfico entre o complexo vulcano-sedimentar de Estremoz e as rochas xistentas silúricas;
- ii. a regularidade da secção das linhas de água (que é importante para o êxito do ensaio);
- iii. a inexistência de efluentes domésticos (uma vez que estes poderiam vir a incrementar o caudal, mascarando o valor real);
- iv. a representatividade da área drenada pela linha de água ou vala medida.

Tendo em atenção a fraca precipitação que se fez sentir em Junho de 1997, altura em que foram realizadas as medições, os locais onde foi possível quantificar caudais sintetizam-se na Tabela 5.IV.

Tabela 5.IV - Localização dos locais onde se efectuou a medição de caudal (INAG, 1997).

Ref ^{cia} .	Designação Do local	Coordenadas Gauss		Caudal medido (l/s)
		M	P	
Q1	B.co do Bosque	259,8	204,1	12
Q2	Rib ^a do Álamo (afluente)	258,1	200,5	4
Q3	Rib ^a de Pardais (afluente)	264,5	196,0	20
Q4	Rib ^a de Pardais (afluente)	263,0	196,8	26

Obteve-se então para o total dos quatro locais de observação um caudal de 62 l/s correspondente às descargas da água que provém da actividade mineira, em “águas baixas” e somente no fecho sudeste do anticlinal.

5. Balanço Hídrico no A4

O balanço hídrico no Sistema Aquífero de Estremoz-Cano (A4) é um procedimento fundamental para o conhecimento do aquífero.

As descargas, naturais ou não, devem ser quantificadas o mais rigorosamente possível. Se normalmente esta é uma tarefa difícil, neste sistema aquífero a situação ainda se apresenta mais complicada. Esta dificuldade não respeita à fronteira do sistema aquífero que é bem delimitada pelo contraste entre as rochas permeáveis do complexo vulcano-sedimentar de Estremoz e as impermeáveis da peneplanície envolvente, nem tão pouco às descargas naturais do sistema, mas sim aos múltiplos bombeamentos já referidos motivados pela actividade extractiva de pedras naturais. As cavas em poço, a que a extracção de blocos obriga, levam à necessidade de se procederem a significativos bombeamentos de rebaixamento do nível piezométrico para que os trabalhos mineiros possam prosseguir em "terreno seco" na máxima segurança possível. Ora, é esta grande quantidade de água que é muito difícil de conhecer já que não se sabe, sequer aproximadamente, o número de bombas instaladas e muito menos a sua capacidade e tempo de funcionamento. Sabe-se contudo, por exemplo, que face ao inverno de 1996, quando ocorreram precipitações elevadas na zona, houve graves prejuízos no sector por inundação das áreas extractivas activas o que levou a um significativo reforço da capacidade de bombeamento instalada.

A monitorização desta variável do sistema hídrico só será possível quando houver uma gestão que não seja individual, por cava-pedreira, como até aqui, mas sim sectorial (**"bacia drenante"**) onde a água, como outros factores, sejam tratados sistemicamente. Estes **"sectores"** são **zonas do anticlinal com algum tipo de unicidade, normalmente ajustada a razões naturais que obviamente condicionaram a existência dos vários núcleos extractivos hoje existentes.**

Já no que respeita às descargas naturais configuradas sobre a forma de nascentes de controlo estrutural ou de contacto o caudal das descargas é cada vez menos significativo. As principais razões para este facto são:

- i. o mau estado de conservação e limpeza das estruturas hidráulicas de descarga;
- ii. o rebaixamento local do nível piezométrico nas zonas de descarga naturais;
- iii. o rebaixamento regional, generalizado, do nível da água.

Particularmente importante é a grande variação de caudais drenados que existe, entre a época seca de águas baixas e as águas altas correspondentes ao período das chuvas. Além desta variação anual deve ainda considerar-se uma variação interanual que se assume, cada vez mais, com maior amplitude e de padrão pouco previsível.

Dos usos principais apenas foi possível estimar, com algum rigor, um volume de água subterrânea para o abastecimento público. Este valor foi obtido a partir da informação cedida pelas cinco câmaras municipais da região.

Assim, o valor total de extracção calculado, segundo dados recolhidos nas respectivas autarquias para as captações camarárias que se localizam na área que corresponde ao sistema aquífero é de $10\,750\text{ m}^3/\text{dia}$ o que corresponde a $3.9 \times 10^6\text{ m}^3/\text{ano}$.

Este valor é apenas uma aproximação certamente subvalorizada uma vez que se baseia em cálculos tendo em conta o tipo de bomba instalada e não num sistema de medição rigoroso.

Apesar do esforço e meios dedicados ao estudo deste aquífero, sobretudo durante o ERHSA, não é possível conhecer as quantidades de água consumidas por cada sector (abastecimento urbano, agricultura, indústria) em cada um dos cinco concelhos. As principais razões para este facto são as seguintes:

- i. ausência de rigor nos dados relativos ao abastecimento público;
- ii. elevadas perdas nas redes de distribuição;

iii. elevados usos não consumptivos pelo sector da indústria extractiva não quantificados e com ciclos de retorno prováveis e muito peculiares;

iv. total desconhecimento do consumo industrial;

v. estrutura agrícola de regadio individual, fragmentada e de grande variabilidade interanual.

Assim, atendendo aos valores nacionais considerados no PNA, relativamente ao total de água consumido:

- 87% consumo agrícola;
- 8% abastecimento urbano;
- 5% consumo industrial.

Dadas as características da região – tecido urbano e densidade populacional, actividade industrial, práticas agrícolas, actividade turística, etc.-, é provável que as taxas locais acompanhem os valores nacionais referidos.

Então, se o abastecimento urbano é $3.9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, correspondendo a 8% dos consumos, e se a área regada em 2003 é cerca de 40 km^2 (valor verificado por trabalho de campo) a que corresponde cerca de 20% da área total do A4 (202.1 km^2) temos um consumo de água para a agricultura da ordem dos $8.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$. Sabemos também que, apesar de constituir um uso essencialmente não consumptivo, na ZM, em estiagem, são drenados, no mínimo 62 l/s, isto é, cerca de $2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$. Pelo conhecimento que temos de campo, admitimos que na estação húmida este valor é, pelo menos cinco vezes superior, donde resulta uma média de $6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$. Não é abusivo afirmar que qualquer destes valores é subestimado.

Tendo em conta que o volume de recursos hídricos subterrâneos renováveis anualmente é da ordem dos $38.6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ e que o valor calculado para o total de consumos de água subterrânea é de $18.4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, podemos dizer que estamos numa situação em que os recursos hídricos subterrâneos renováveis são suficientes. De qualquer forma, considerando a subestimação dos “consumos”, a

margem de excedentes, em muitos anos hidrológicos, será suficientemente reduzida para, por si só, explicar alguns problemas de escassez que se têm verificado e se justificar uma gestão integral da água no A4.

6. Caracterização regional de fontes poluentes

Cada tipo de fonte poluente manifesta um efeito específico (mediante as suas características) sobre o aquífero. Assim, uma fonte poluente poderá ser tópica (pontual) ou difusa, pode apresentar características conservativas ou não e, pode ainda ser temporal ou permanente. Todas estas características conjugadas com as substâncias contaminantes que lhe estão inerentes, conferem à água subterrânea a tipologia específica do poluente a que foi submetida, pelo que a eliminação da carga contaminante, exigirá métodos específicos de controlo e tratamento que, para além de onerosos são de fiabilidade questionável. Entre outras, são estas razões que levam, cada vez mais, à adopção de procedimentos essencialmente preventivos e de planeamento, isto é, sempre a montante das situações descritas.

Mediante as condições hidrogeológicas regionais, é inquestionável a realização de um levantamento de fontes poluentes onde o binómio infiltração/contaminação seja devidamente tratado, e por forma a garantir uma correcta gestão do território, agora reforçada pelo Plano Regional de Ordenamento do Território na Zona dos Mármore - PROZOM.

Já em 1990 Silva *et al.* dão conta dos indicadores de poluição agrícola e das situações gravosas ao nível dos efluentes domésticos e minas a céu aberto.

Por outro lado, e tendo em conta por exemplo o meio hidrogeológico afecto aos calcários lacustres do Cano, com transmissividades que podem atingir valores na ordem dos 5.000 m²/dia (Cupeto, 1991), depressa nos apercebemos da importância da identificação de todas as fontes poluentes, as quais não constituem senão áreas de alto risco para a contaminação (há, contudo, que

referir que existem determinadas zonas, com uma fácies argilosa, onde a permeabilidade é reduzida).

Um aspecto significativo, mas de consequências não quantificadas, é o facto de o A4 ser atravessado por uma importante via de comunicação terrestre, a entrada em funcionamento da A6, agravou esta situação de risco (já que existe uma grande probabilidade dos hidrocarbonetos, resultantes da lavagem dos caminhos asfálticos, percolarem até aos níveis aquíferos, constituindo assim uma fonte de contaminação a ter em conta).

Num levantamento de pormenor da situação existente, constatou-se que:

i. na zona de Estremoz-Borba-Vila Viçosa, já houve oportunidade de registar alguns problemas de contaminação da água subterrânea, associadas não só a poluição provocada por suiniculturas e vacarias, como também a pedreiras inundadas junto a uma antiga mina de cobre (Miguel Vacas) abandonada, Figura 17.IV;

ii. no sector de Cano a principal fonte de contaminação é a agricultura intensiva de regadio (onde se conjugam técnicas tradicionais com técnicas mais recentes de rega gota a gota e por aspersão), que se apresenta dispersa por toda a área afecta a estes calcários, ainda que a existência de focos de poluição pontual também possa apresentar importância relevante (p.ex. rupturas na rede de águas residuais urbanas e actividades agro-pecuárias), Figura 18.IV. Associados à actividade agrícola há ainda outros focos laterais de contaminação que a Figura 19.IV ilustra: o lixo de embalagens de pesticidas e outros químicos mostram, não só, a quantidade de indiscriminada de produtos usados como a má prática do perigo do seu abandono como que a denunciar e a agravar o “crime”;

iii. lixo urbano; apesar da tendência teórica para a resolução, este problema mantém-se na generalidade;

iv. particularmente grave, generalizada a toda a ZM, são as sucatas abandonadas.

Importa aqui salientar que o inventário de fontes de poluição efectuado teve em conta não só o trabalho de gabinete (consulta dos Planos Directores Municipais, bem como do Plano Regional de Ordenamento do Território da Zona dos Mármore), como também um exaustivo reconhecimento de campo e a consulta directa às Câmaras Municipais, Figura 20.IV.

De facto, a Figura 20.IV sintetiza um conjunto significativo e diversificado de situações que facilmente se traduzem num potencial risco de contaminação. Há ainda a considerar um sem número de pequenas actividades, dispersas por toda a área mas sobretudo nos meios urbanos e suas influências, não representadas (oficinas, pequenas unidades industriais – salsicharias, adegas, lagares, armazéns diversos, gráficas, etc. - pomares, vinhas, olivais e hortas, etc.). Isto é, uma carga sobre o A4, que indica um considerável risco de contaminação grave.



Figura 17.IV - Junto à povoação de Pardais e da área de extracção com o mesmo nome a água ácida da Mina de Miguel Vacas é uma ameaça latente.



Figura 18.IV - No sector de Cano as extensas áreas de cultura de regadio são diversificadas: tomate, beterraba, pomares, olival, milho.



Figura 19.IV - Esta imagem, no Cano, é comum nas áreas mais intensamente regadas.

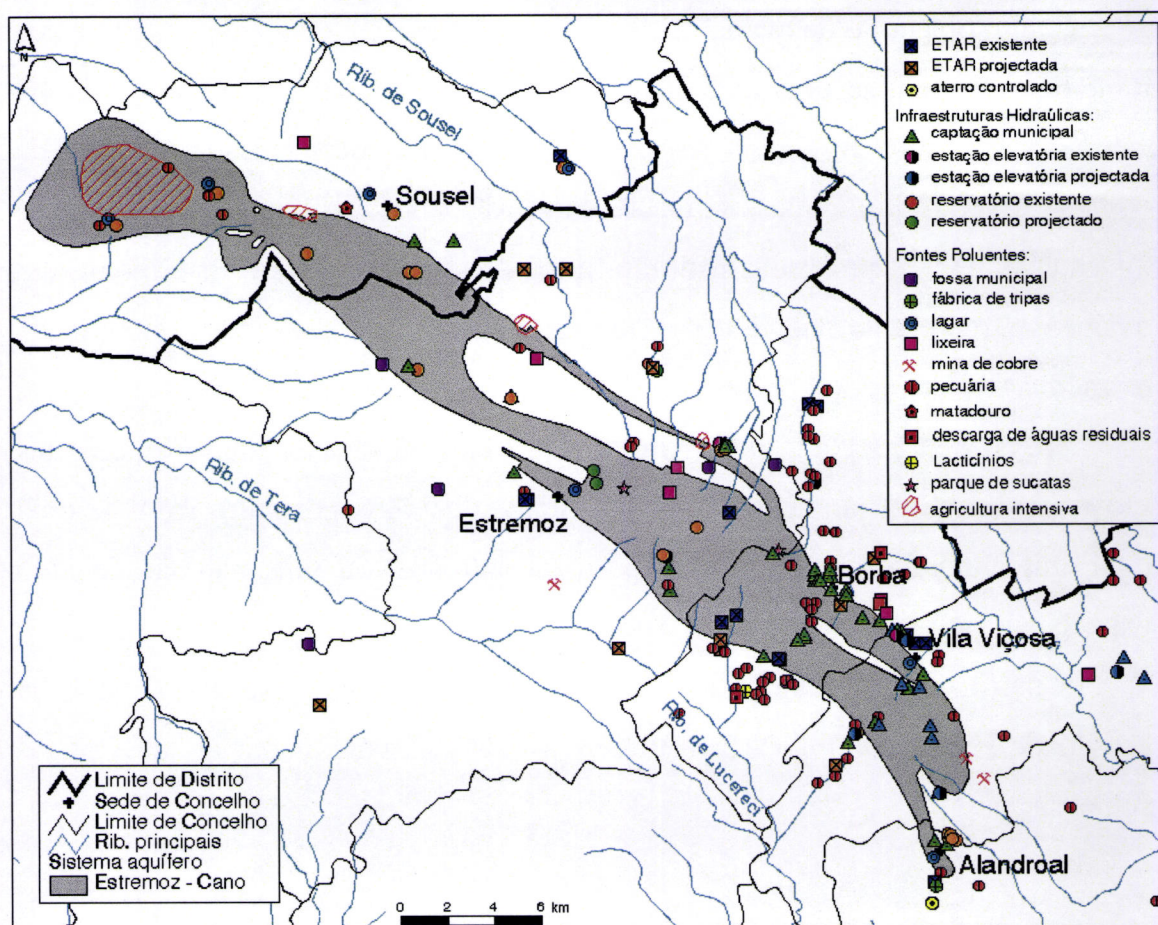


Figura 20.IV - Inventário de fontes poluentes e infraestruturas hidráulicas – sistema aquífero Estremoz-Cano (INAG, 1999)

6.1 Indústria Extractiva

Para além das fontes poluentes consideradas, a indústria extractiva, fortemente implantada no sector SE do anticlinal de Estremoz, é fundamentalmente não poluente, mas também pode constituir risco de contaminação do sistema aquífero. Este risco poderá estar associado, eventualmente, às águas residuais e descargas provenientes da lavra e que são lançadas directamente na rede hidrográfica, mas também, e sobretudo, à exposição do nível freático. De facto, os trabalhos mineiros de decapagem do solo e abertura de poços, torna o sistema ainda mais vulnerável a eventuais cargas contaminantes.

Com o objectivo de avaliar o risco de contaminação associado aos efluentes mineiros, efectuou-se uma colheita em três pontos, Figura 21.IV, durante uma campanha realizada em Setembro de 1998. Os critérios de selecção dos locais de colheita, tiveram em conta o contacto entre as rochas carbonatadas e as rochas xistentas, uma vez que este constitui o limite do sistema aquífero Estremoz-Cano e ainda a representatividade do efluente amostrado (a jusante da actividade extractiva).

Apesar de terem sido realizadas apenas três análises considera-se que estas são representativas, já que cobrem a totalidade da ZM e, por outro lado, há uma total uniformidade de práticas em todas as pedreiras, ou seja, não são de todo expectáveis outras situações além das amostradas.

A partir dos valores obtidos, constata-se que os efluentes, provenientes da actividade extractiva, não constituem fonte de contaminação das águas subterrâneas.

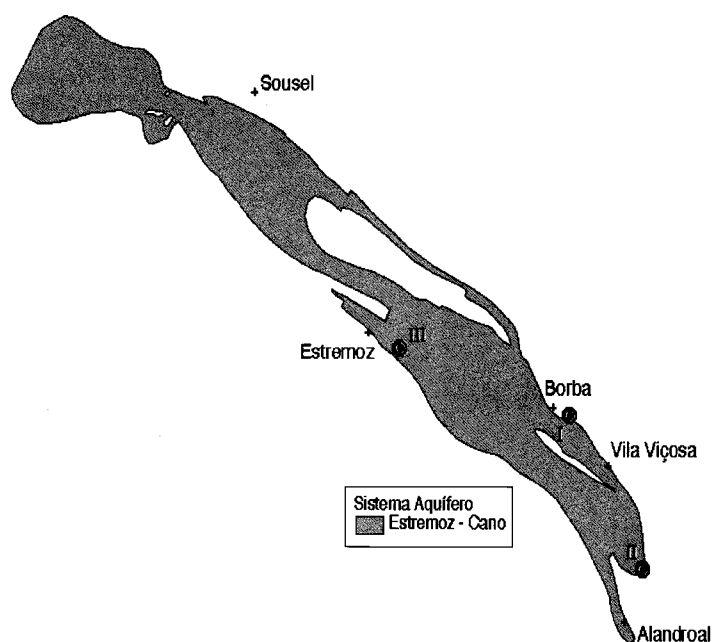


Figura 21.IV - Localização dos pontos de amostragem (a jusante da actividade extractiva) para caracterização dos efluentes mineiros (INAG 1998)

De alguma forma este era o resultado esperado uma vez que não são conhecidas práticas ou substâncias que possam directamente constituir-se como carga contaminante.

6.2 Uso agrícola

No que respeita ao uso agrícola da água, utilizando os dados obtidos na campanha de amostragem de 1997, procedeu-se à sua projecção no diagrama de River, Figura 22.IV. A classificação adaptada pelo U.S. Salinity Laboratory Staff (1954) relaciona a “taxa de absorção de sódio” (TAS) com a condutividade das águas.

Da observação do diagrama conclui-se que a água analisada apresenta um perigo médio a alto de salinização do solo regado. Por outro lado, o perigo de alcalinização é bastante reduzido. Este resultado resulta da intensa utilização agrícola da água cuja qualidade tende a agravar-se, afectando igualmente a qualidade do solo.

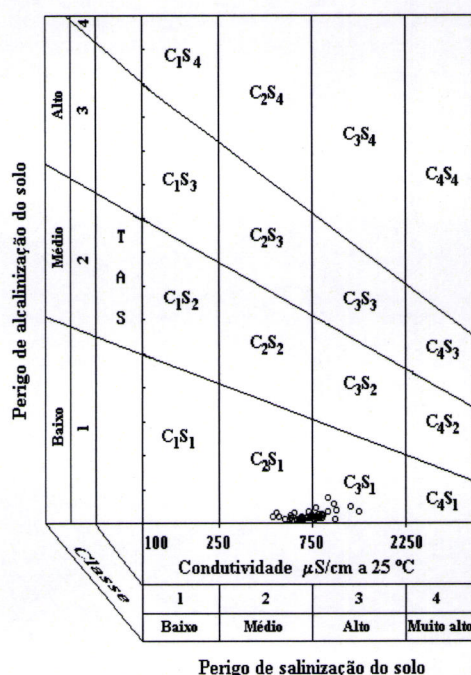


Figura 22.IV - Diagrama de River - dados de 1997- sistema aquífero Estremoz-Cano.

No que se refere aos efluentes provenientes da indústria extractiva, e por vezes reutilizados na agricultura, verifica-se que estes apresentam uma qualidade mínima aceitável para a rega; com excepção dos iões bicarbonato e nitrato, que ultrapassam o Valor Máximo Recomendável (VMR) definido pela legislação em vigor.

1. Introdução

Assim, adquirida a informação hidrogeológica fundamental ao longo de anos através de vários trabalhos e em diferentes contextos, procura-se agora não só tratar e aprofundar alguma dessa informação mas também dar-lhe uma abordagem inteiramente nova. Essa abordagem irá assentar na aplicação de uma ferramenta a que as modernas práticas de gestão ambiental recorrem: a **Análise do Ciclo de Vida (ACV)**¹.

O que é a ACV? É um processo objectivo para avaliar as cargas ambientais associadas a um produto, processo ou actividade, neste caso à utilização da água.

A água, não só como um recurso natural renovável mas também, e sobretudo, como um bem (matéria prima) que se usa e rejeita.

O Artigo 2º da Carta Europeia da Água (1968) refere: *Os recursos de águas doces não são inesgotáveis. É indispensável preservá-los, administrá-los e, se possível, aumentá-los. Em consequência da explosão demográfica e do acréscimo rápido das necessidades da agricultura e da indústria moderna, os recursos de água são objecto de uma solicitação crescente. Não se conseguirá satisfazê-la nem elevar os padrões de vida, se cada um de nós não aprender a considerar a água como um género precioso que deve ser preservado e utilizado racionalmente.* Tudo isto, trinta anos depois, é reafirmado pela Directiva 2000/60/CE – Directiva Quadro da Água.

Mas, em oposição, a explosão demográfica conduz a uma utilização muito intensa da água, e não só. Cada vez mais a tipologia desta utilização aproxima a

¹ Em Anexo apresentam-se algumas definições, segundo a Norma ISO 14 040, que ajudam a compreender a ACV.

água de um recurso não renovável, tal é o nível, a diferentes escalas, de insustentabilidade da sua má utilização.

Que outro recurso, matérias-primas ou substâncias, “merecem” tanto uma ACV como a água?

1.1 A análise do ciclo de vida da água

É notório que as sociedades modernas ocidentais excluíram o contacto directo como o meio. No que respeita à água, esta realidade assume particular importância. O ciclo da água não é conhecido pela generalidade dos utilizadores: como se julga, nas sociedades ocidentais, a água não é um bem garantido e praticamente sem custo. Como 80% dos europeus vive em cidades, sobretudo em grandes cidades, para eles a água é um bem inesgotável, a que se tem direito sem qualquer responsabilidade. A época de desperdício em que a sociedade ocidental assenta o seu “bem estar” em nenhuma outra matéria é tão bem ilustrada como na utilização da água.

O europeu pensa que água é inesgotável, há sempre forma de garantir novos recursos. O preço de, durante décadas, o planeamento hidrológico e a gestão de recursos hídricos ter assente na satisfação imediata dos consumos é demasiado elevado. Como utilizamos a água? Existe uma "ingénua" convicção que a moderna tecnologia pode conduzir a um uso sustentável do ciclo hidrológico só pelo facto de proporcionar água, mas, será isso possível? (Cupeto, 2001)

É neste contexto que desde o final dos anos 60, início dos 70, se aplica a Análise do Ciclo de Vida (ACV). Em 1969 a Coca Cola Company pagou estudos de comparação dos impactes ambientais de diferentes tipos de embalagens de bebidas. Embora até ao momento a ACV se tenha focalizado essencialmente na aplicação a produtos, cada vez mais a sua aplicação a processos e serviços é uma realidade. Na Europa há vastos sectores da energia eléctrica e dos transportes que

estão a recorrer à ACV como forma de apoio à decisão. A ACV é sempre um caso de espécie, com especificidades próprias que terão de ser tomadas em conta em cada situação.

É claro que, como em todos os outros produtos ou bens, as diferentes opções de utilização e gestão da água devem ser encaradas num contexto de ACV. Só assim se pode aspirar a práticas que conduzam a uma utilização mais sustentada, racional e económica da água.

A ACV não é só um instrumento para proteger o ambiente e conservar os recursos naturais. Neste caso da água, e os ecossistemas que lhes estão associados, é também uma ferramenta para reduzir custos e melhorar a qualidade do serviço que se presta, por exemplo, quando se fornece água às populações.

Para que melhor se compreenda a ferramenta que nos propomos usar a *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* considera a ACV "como um processo objectivo para avaliar as cargas ambientais associadas a um produto, processo ou actividade, identificando e quantificando o uso de matéria e energia e os resíduos no meio; para determinar o impacte que esse uso de recursos e esses resíduos produzem no ambiente e para avaliar e levar à prática estratégias de melhoria ambiental. O estudo inclui o ciclo completo do produto, processo ou actividade, tendo em conta as etapas de: extracção e processamento de matérias-primas; produção, transporte e distribuição; uso, reutilização e manutenção, reciclagem e deposição do resíduo." Isto é, estamos perante uma ferramenta do tipo "do berço ao túmulo". No caso presente, o ciclo da água, o "túmulo" significará, em princípio, uma rejeição em condições de poder ser novamente utilizada (ciclo). Como se sabe é cada vez menos assim.

Se "traduzirmos" esta definição e a aplicarmos ACV ao Ciclo da Água poderemos aceitar algo do tipo: processo objectivo para avaliar as cargas ambientais associadas à utilização da água, identificando e quantificando o uso, a energia e os efluentes, para determinar o impacte que esse uso da água e esses efluentes produzem no ambiente e para levar à prática estratégias de melhoria

ambiental. O estudo inclui o ciclo completo da utilização da água, tendo em conta as etapas de: captação, tratamento, distribuição, utilização e tratamento/rejeição.

Já em sede da *International Standard Organization* - Normas ISO 14000 - define-se a ACV como “uma técnica de avaliação dos aspectos ambientais e impactes potenciais associados ao produto pela:

- Compilação de um inventário dos *inputs* e *outputs* do sistema relevantes em termos ambientais;
- Avaliação dos impactes ambientais potenciais associados a estes *inputs* e *outputs*;
- Interpretação dos resultados das fases de inventário e avaliação em relação com os objectivos do estudo”.

Estamos, pois, perante uma ferramenta que possibilita uma abordagem que vai muito além das questões e problemática meramente ambiental. Além desta, a dimensão social e económica assumem uma importância verdadeiramente relevante. Estamos assim em presença de um contexto de análise iminentemente sustentável.

1.2 A água como ecoproduto

O conceito de Ecoproduto, resulta da tentativa de optimização de todas as interacções que ocorrem durante a génese de um qualquer produto, desde a extracção de matérias primas, origem e utilização de energia, até à sua produção, distribuição e comercialização, ao seu consumo e utilização, prosseguindo com a sua eliminação, preferencialmente atendendo, por esta ordem, à reutilização, reciclagem e valorização energética, ou, em último caso, ao tratamento e destino apropriado dos resíduos produzidos, Figura 1.V.

Segundo Santos Oliveira (2003), a utilização de tecnologias menos poluentes deverá ser considerada em todas as fases e a todos os níveis. Como não

existem tecnologias, ou práticas, totalmente limpas, o objectivo será o da obtenção do resultado mais favorável de entre as várias combinações que serão sempre possíveis.

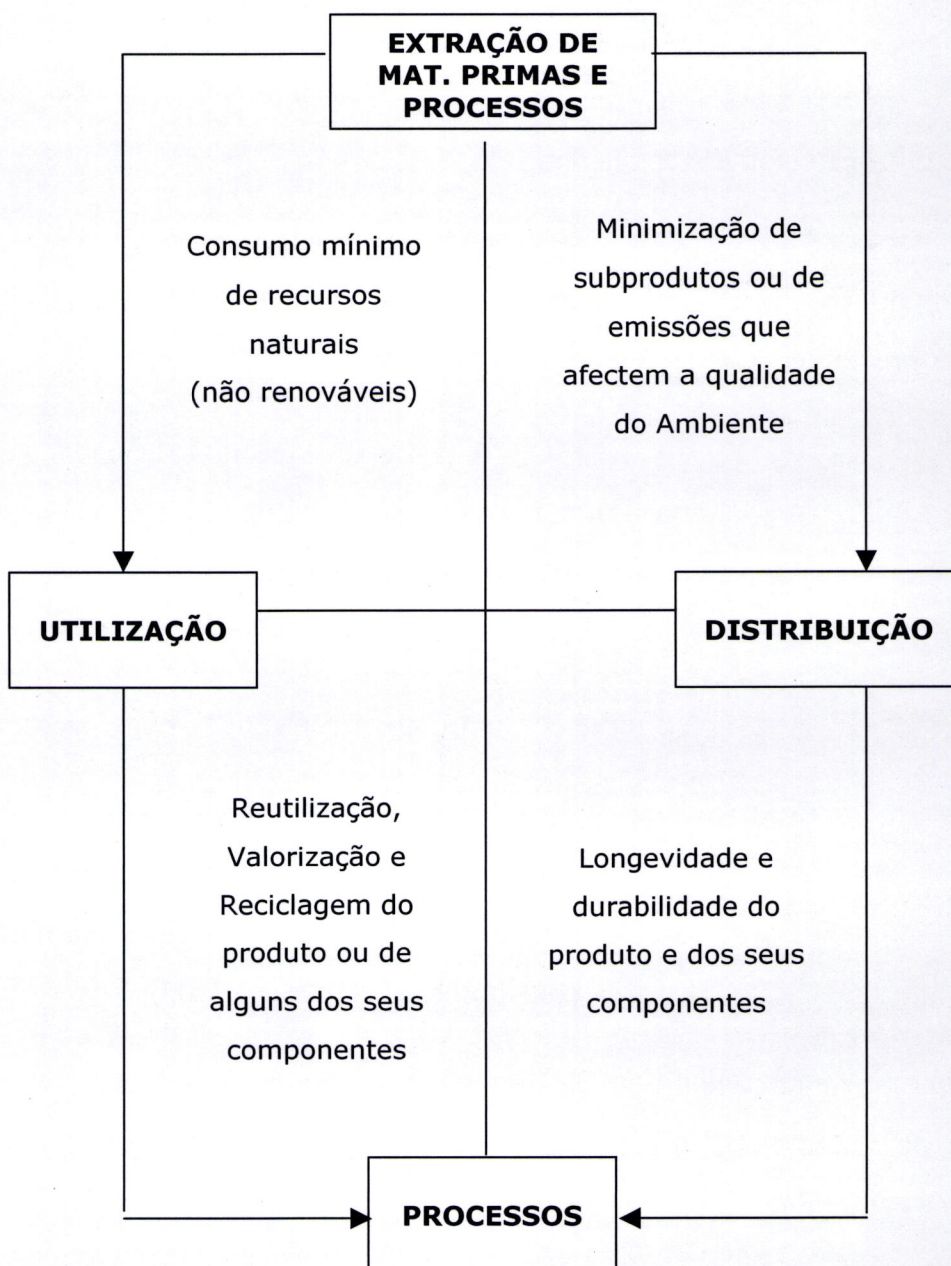


Figura 1.V - Ciclo de um Ecoproduto (adapd. Oliveira 2003)

O mesmo autor considera que um Ecoproduto deverá, por definição, respeitar o meio em todas as fases do seu ciclo de vida, ou seja:

- na extracção das matérias primas (preferencialmente renováveis);
- na laboração e produção de produtos e bens;
- na sua distribuição pelo mercado;
- na sua utilização, pelos consumidores, individuais ou industriais;
- na sua manutenção, na fase de utilização activa;
- no seu destino “final”, incluindo possibilidades de recuperação, reutilização e/ou de reciclagem.

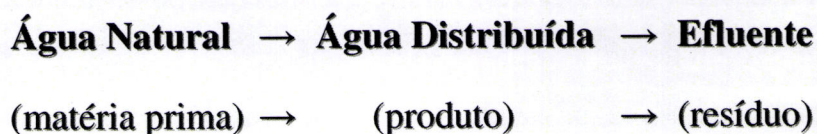
Contudo, para se assumir plenamente a noção de Ecoproduto, é necessário esclarecer previamente, as seguintes questões teóricas:

- i. “o percurso e efeitos de cada um dos constituintes e dos seus eventuais efeitos sobre os ecossistemas com que irão contactar;
- ii. sinergias que possam vir a estabelecer-se, entre os produtos e a envolvente, destacando possíveis amplificações e/ou exclusões;
- iii. dificuldades ou impossibilidade em parametrizar ou ponderar os impactes relativos dos diversos constituintes.” (Oliveira, 2003)

O mesmo autor conclui: um Ecoproduto é um **Produto de Valor**, sendo um **Produto de Valor um Produto cujo valor de uso é elevado e cujo valor de prejuízo é reduzido.**

Antes de mais devemos formular a questão: **há algum outro produto, como a água, que encerre tão bem o conceito de ecoproduto?**

Assim, e no que respeita à água, podemos considerar:



Para ter uma noção tão aproximada quanto possível do que significa a aplicação destas matérias e conceitos à água, segue-se também Santos Oliveira *op. cit.* e enumeram-se outras características quando se procede à apreciação ecológica de um produto:

i. **“Durabilidade:** quanto mais durável for um produto menor será o impacte que terá no Ambiente, em especial quando este é referido como a relação em termos de uma duração padrão:

A Duração padrão de uso é igual ao Impacte sobre o ambiente/Período de vida útil do produto.”

Um produto com menor vida útil terá custos mais elevados (um maior consumo de recursos e de energia, uma maior produção de resíduos e uma maior probabilidade de impactes). O aumento da duração de um produto representa um factor acrescido de qualidade.

ii. **“Utilidade:** a utilidade/qualidade de um produto é medida pela capacidade que ele demonstra, na prática, de poder ser utilizado para um determinado objectivo; trata-se de uma característica que é relativa (isto é, que não tem um valor absoluto) e ambígua, na medida em que, na realidade, nenhum produto pode ser usado para todos os fins teoricamente possíveis. A noção de utilidade/qualidade depende essencialmente da óptica do interessado no seu uso. Para já, no nosso caso, depende e é diferente para o Produtor, para o Distribuidor (se tal figura intervier na fileira) e para o Consumidor. Os objectivos de cada um destes grupos são diferenciados, mas também por vezes divergentes. Neste contexto o sector mais fraco é, em geral, o último,

pelo menor peso técnico-económico que apresenta e por não saber, em regra, exercer o seu poder. Embora a situação possa tendencialmente estar evoluindo no sentido de se reconhecer o efectivo e decisivo poder dos consumidores, se o souberem exercer, as decisões e o poder estão ainda nas mãos dos produtores/distribuidores, trabalhando de forma coordenada.”

iii. “Eficiência: cada vez mais a noção de eficiência se torna dominante; daí a necessidade de comparar o desempenho dos produtos entre si, isto é, medir de forma tão rigorosa quanto possível a capacidade que um determinado produto tem para desempenhar funções específicas, de forma a satisfazer os interesses dos consumidores.

Torna-se, por isso necessário estabelecer de forma rigorosa (quantificada) o valor de um determinado produto, de um determinado processo ou de um determinado serviço.”

Para o estabelecimento dessa escala, haverá que tomar em conta:

- Valores de uso:

- a) utilidade;
- b) aptidão à função (eficácia);
- c) aptidão ao uso (facilidade de utilização);
- d) durabilidade;
- e) segurança e salubridade;
- f) valor educativo e pedagógico.

- Valores de prejuízo (ou de nocividade):

- a) riscos - os riscos correspondem às exigências, formuladas em termos positivos quanto à segurança e salubridade; são, por isso, termos de uma mesma equação;
- b) impacte sobre o ambiente.”

Transferindo tudo isto para a água, e sua utilização, fica óbvio, que a aplicação destes conceitos na análise de um “balanço hidrológico de utilização” é de grande interesse.

1.3 Descrição metodológica da ACV

Se seguirmos a metodologia clássica da ACV, segundo as próprias normas ISO - *International Santard Organisation*, devemos considerar:

- i. **definição de objectivos**, definir os objectivos globais do estudo, o produto implicado - a água -; a quem se destina; o alcance e magnitude do estudo; os dados necessários e o tipo de revisão crítica que se deve realizar (compreender o ciclo da água e utilizações antrópicas à luz da ACV no Sistema Aquífero A4);
- ii. **análise de inventário**, verificar uma série de processos e sistemas conectados pela sua finalidade comum de utilização da água;
- iii. **avaliação de impactes**, no sentido de se chegar à interpretação do balanço ambiental do uso da *água-impactes ambientais*.

Esquemáticamente a Figura 2.V sintetiza o processo da ACV segundo a ISO.

Não sendo esta uma Tese clássica de Hidrogeologia ou Recursos Hídricos, recorre-se a toda a informação disponível nestas áreas para, perante o tipo de utilização, conduzir a uma avaliação tão longe quanto possível do uso sustentável, ou não, da água que se faz no Sistema Aquífero A4.

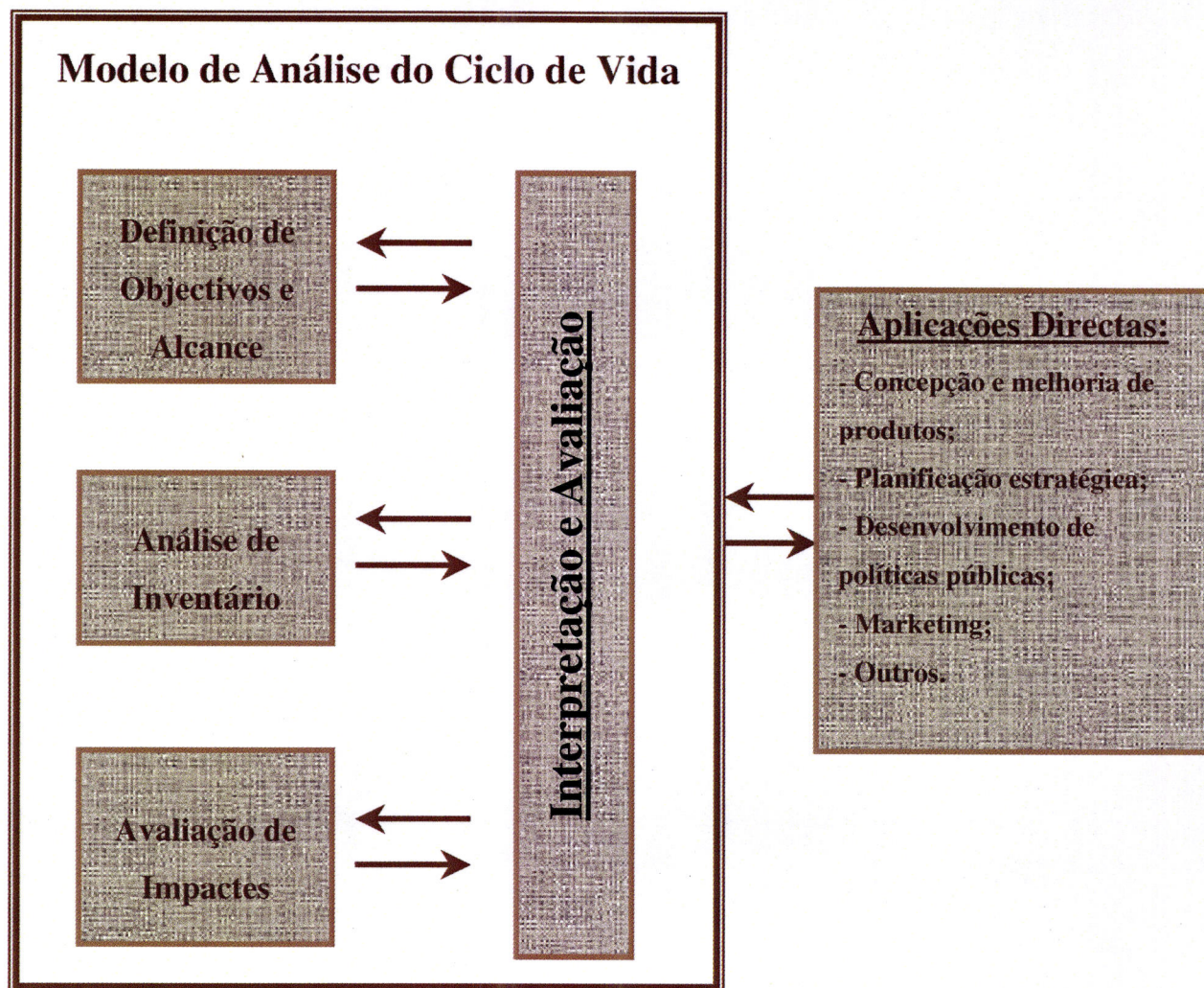


Figura 2. V - A ACV, segundo o modelo proposto pela ISO, tem um vasto conjunto de aplicações de última geração (ISO 14040).

1.3.1 Definição de objectivos

A abordagem clássica do ciclo da água é quase sempre um balanço de números e valores que conduzem a resultados mais ou menos esperados face às condições biofísicas presentes bem como à ocupação e uso do território, isto é, ao uso da água. Ao aplicar a metodologia ACV ao ciclo da água no Aquífero A4 vamos tentar entender em cada momento os impactes verificados no meio hídrico natural.

Não se conhece nenhum trabalho de aplicação do ACV ao ciclo da água. Espera-se que os resultados desta tentativa possam ser bastante positivos do

ponto de vista da análise integrada do ciclo da água e da sua utilização. A água em cada utilização assume-se como um "produto" de determinadas características e cuja disponibilidade exige um conjunto de operações e procedimentos que se traduzem num serviço. À partida, parece não se identificarem grandes diferenças entre o produto "água" que é utilizado e rejeitado e um outro produto qualquer. A grande diferença está no facto de esta no seu "ciclo natural" constituir, naturalmente, um bem renovável. Assim, pretende-se estudar o ciclo da água no Aquífero A4 tendo em consideração o desenvolvimento económico, a conservação da natureza e o bem-estar social – o que se chama presentemente Desenvolvimento Sustentável. Isto é, avaliar a utilização da água no Anticlinal de Estremoz tendo em consideração os princípios da sustentabilidade e utilizando as ferramentas disponíveis na ACV.

Como já foi referido, a água considerada como um produto deverá ter a sua utilização e os serviços associados a essa utilização, verificados à luz da **Política Integrada do Produto (IPP)**, que na U.E. conduzirá a directiva comunitária. Em síntese, pretende-se a integração da política ambiental comunitária no uso e rejeição da água.

Os grandes objectivos globais deste estudo no Sistema Aquífero A4 são:

- i. minimizar os impactes no ciclo hidrológico;
- ii. contribuir para a gestão integrada da água;
- iii. melhorar a qualidade da água;
- iv. reduzir os custos de "produção" (captação-tratamento-distribuição-uso-tratamento/rejeição);
- v. quantificar, na medida do possível, os impactes ambientais;
- vi. criar uma base de dados de apoio à gestão.

Naturalmente que estes resultados só serão possíveis num profundo contexto de co-responsabilização e de parcerias entre o sector público, o privado,

os diferentes sectores da actividade económica e os cidadãos (conjunto de utilizadores).

Os destinatários deste trabalho são, num primeiro momento, os gestores autárquicos e as entidades regionais e nacionais da administração. Também ao nível dos utilizadores, designadamente a indústria das pedras naturais e a actividade agro-pecuária, há óbvias implicações que devem surgir daqui. Por último o cidadão comum, como consumidor e utilizador de um bem valioso de primeira necessidade.

Pelo que já se disse, o alcance e magnitude do estudo aqui proposto é bastante transversal e cruza todos os sectores da sociedade. A sua aplicação e prática deverão traduzir-se, como ferramenta de gestão, numa significativa melhoria da utilização da água.

Entre os principais dados necessários, devem referir-se os de natureza hidrológica, hidráulica, sanitária, económica, biofísica, ecológica e social. O tipo de revisão a propor deve perseguir, naturalmente, a melhoria continua e a optimização da utilização e gestão da água no A4.

1.3.2 Análise de Inventário

A revisão e interpretação detalhada de todos os processos globais e unitários associados ao ciclo natural da água e bem assim, ao ciclo da sua utilização no sistema aquífero A4, são fundamentais para a boa leitura e conhecimento do ciclo de vida em análise.

Todas as situações de fronteira, transmissão e transferência de massa são determinantes para o bom conhecimento do funcionamento do sistema aquífero. Todas estas análises devem ter em consideração não só os parâmetros quantitativos mas muitas vezes, sobretudo, tudo o que se refere à qualidade, á sua alteração e aos factores que a determinam.

A ACV agora realizada apresenta-se e considera-se como gestor da água como forma de integração de todos os recursos de modo a que as necessidades económicas, sociais e ecológicas, ou mesmo estéticas, possam ser satisfeitas mantendo a integridade cultural dos processos ecológicos essenciais à diversidade biológica e os sistemas em defesa da vida. Tudo isto se sintetiza no designado **Desenvolvimento Sustentável onde a globalização é incontornável e o local é imprescindível**. É nesta dimensão global do ciclo da água que se deve considerar, localmente, o Sistema Aquífero A4 e, a uma escala maior, todos os processos e sistemas unitários associados.

A análise de inventário é essencialmente um balanço de matéria e energia do sistema. Compreende a compilação dos dados e o seu tratamento de forma a quantificar as entradas e as saídas do sistema estudado. A análise de inventário é um processo interactivo que, na medida do seu desenvolvimento, nos vai dar a conhecer melhor o sistema. Normalmente a metodologia a seguir aconselha à:

- i. elaboração de um diagrama de fluxo,
- ii. definição da qualidade dos dados,
- iii. definição dos limites do sistema,
- iv. redefinição dos dados,
- v. redefinição de objectivos e âmbito.

Assim a análise de inventário conclui a listagem de todos os *inputs* e *outputs* dos sistemas definidos no âmbito da AVC. Esta lista detalhada apoia, portanto, a avaliação de impacte ambiental.

Na **análise de inventário**, trata-se pois, de verificar uma série de processos e sistemas conectados pela sua finalidade comum de utilização da água.

1.3.3 Avaliação de impactes

Seguindo as tradicionais ferramentas de avaliação de impacte ambiental e auditoria ambiental, todas as intervenções (leia-se, utilizações) do ciclo da água devem ser analisadas e avaliadas (Cupeto, 2003).

Só uma avaliação detalhada desses impactes, se possível quantificada, poderá projectar as medidas de minimização ou as alterações que se reflectam positivamente no ciclo da água. A moderna ferramenta da Avaliação Ambiental Estratégica (AAE) é a mais avançada e responde perfeitamente às necessidades da ACV (Cupeto, 2002).

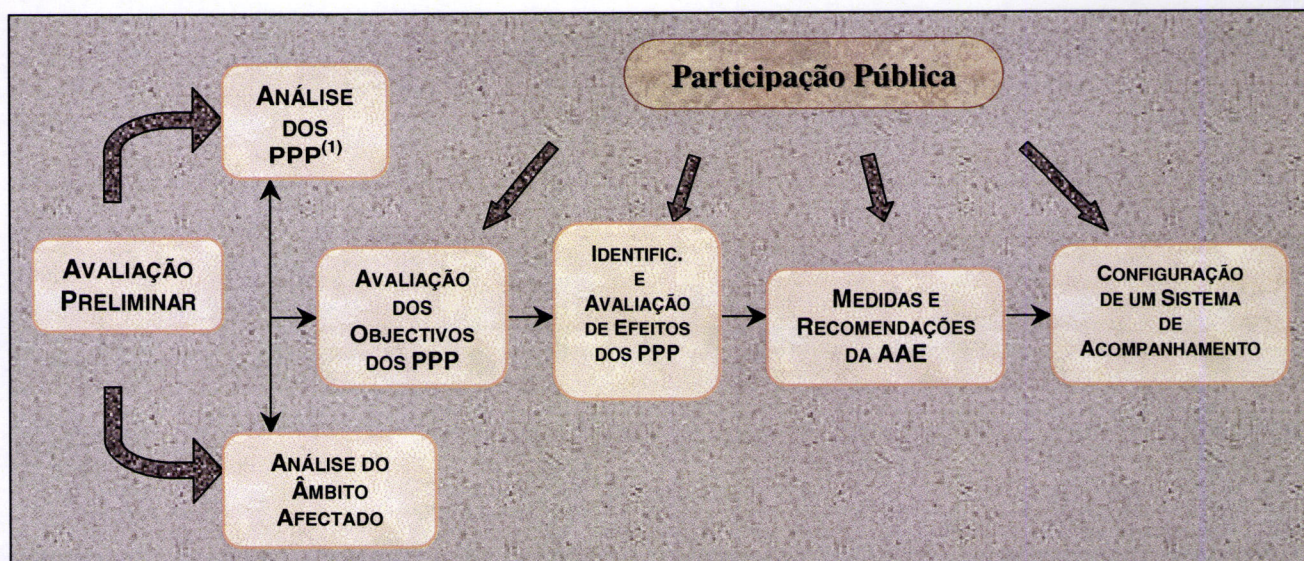
Adaptado de Oñate (2002) a Figura 3.V evidência sinteticamente a metodologia AAE.

Assim, a metodologia geral a adoptar na análise das vertentes ambientais consideradas no ciclo natural da água do A4 foi definida com vista a uma análise dos impactes ambientais gerados pela utilização da água.

A metodologia seguida obedeceu às seguintes orientações:

- A. Descrição e classificação dos potenciais impactes ambientais efectuadas relativamente à situação de referência, correspondente ao ciclo da água natural;
- B. Apresentação das diversas alterações e intervenções no ciclo natural da água; fase de exploração e desactivação de forma individualizada;
- C. Descrição e classificação dos impactes espectáveis, que compreenderam as seguintes etapas:
 - Identificação dos potenciais impactes determinados pelos usos da água;
 - Avaliação dos impactes identificados no que respeita à sua natureza (positivos e negativos) e significado (importância);
 - Comparação das soluções tipo “melhor utilização possível”;

- Recomendação de medidas de minimização de impactes negativos e de medidas de valorização de impactes positivos;
- Avaliação de eventuais impactes ambientais residuais.



(1) – Planos, Programas e Projectos.

Figura 3.V - A AAE deve apoiar a ACV.

1.4 Ciclo de Vida do Produto

O ciclo de vida do produto (ISO 14 040 a 43) à luz do desenvolvimento sustentável assenta na avaliação da carga ambiental de cada utilização/rejeição e procedimento.

Designadamente:

ISO 14040 - Princípios gerais - visão global da metodologia da avaliação do ciclo de vida.

ISO 14041 - Análise de inventário - definição de metas e objectivos e análise de inventário.

ISO 14042 - Avaliação de impacte - análise de impactes ambientais.

ISO 14043 - Avaliação da melhoria - propostas para a melhoria continua.

Estamos perante uma abordagem de natureza global cujo alcance vai além da água como recurso e aborda a água como ecossistema biofísico.

Todavia, os próprios responsáveis do Comité Técnico da ISO que estudam a ACV consideram que se está apenas no início. De qualquer forma, a Análise do Ciclo de Vida promete muito. Pode ser utilizada para integrar um sistema de utilização/gestão da água; ajudar a analisar os efeitos dessa utilização, actividade ou efeito em tempo; e para além disso é suficientemente flexível para se usar em relatórios demonstrativos de necessidades ou conformidades regulamentares.

Como está demonstrado, a ACV pode (e deve) conduzir à diminuição dos impactes ambientais, estando estes extremamente vinculados à redução de custos de produção e à melhoria da qualidade da água.

Os resultados da ACV podem ser usados, na hora de tomar decisões, para configurar indicadores ambientais e, sobretudo, para apoiar toda a prática de captação-tratamento-uso-tratamento/rejeição da água.

A ACV não tem uma metodologia fixa, goza antes de várias alternativas assentes nos métodos científicos de investigação e com a avaliação do sentido comum das questões complexas associadas ao ambiente (Fullana 1997).

1.4.1 Ecossistema hídrico *versus* utilização da água

Ao ecossistema hídrico correspondem naturalmente todas as diferentes fases do ciclo natural da água:

- precipitação;
- evapotranspiração;
- escorrência:
- escorrência hipodérmica;

- escorrência subterrânea;
- água de retenção;
- infiltração eficaz.

Sobre este ecossistema natural vão interagir um conjunto de operações e procedimentos a que chamamos “utilização da água”.

Às diferentes fases da utilização da água vão corresponder várias unidades funcionais onde é possível contabilizar todas as entradas e saídas e as cargas ambientais que lhes estão associadas. Assim, e desde logo, vai ser necessário definir muito bem as unidades ambientais em que vai assentar esta Tese.

As unidades funcionais correspondem a um conjunto de processos unitários ou subsistemas que, actuando num tempo, possibilitam a utilização da água. Assim, as unidades funcionais ou sistemas unitários são identificados mediante um diagrama funcional que inclui, a montante, a prospecção da água, a captação (procedimentos e operações lhes estão associados e a própria fase de construção), depósito e armazenamento, tratamento e a distribuição. A utilização marca evidentemente a fase mais significativa de todo este processo importando saber para que se usa e como. A jusante do uso entramos na fase da rejeição, onde importa saber o quê, quanto e como.

À semelhança com qualquer outro produto, temos um conjunto de processos que se identificam com o “fabrico”/utilização da água (prospecção, captação, tratamento e distribuição) e um outro grupo que respeita à sua utilização/rejeição. É nesta segunda fase, utilização/rejeição que deverá ser considerada a reutilização, usos alternativos ou utilização secundária da água.

1.5 Limitações da ACV

A ferramenta da ACV tem algumas limitações e exigências que interessa ter bem presentes.

Mais do que qualquer outro método, os resultados finais vão depender da qualidade dos dados utilizados. Também a designada "metodologia ACV" não está totalmente normalizada e experimentada. A maioria das vezes nem é possível recolher todos os dados e por isso a ACV envolve assumir hipóteses e avaliar julgamentos. A escala a que se faz a aplicação, bem como a origem e agregação dos diferentes dados, constituem igualmente limitações na análise das conclusões. Infelizmente esta é uma das grandes limitações do nosso caso de estudo.

De qualquer forma, como o próprio objectivo da Norma indica, esta não pretende descrever o "estudo ACV perfeito" mas antes propõe que os métodos devem ser aplicados de forma flexível, de modo a reflectir os desenvolvimentos na área.

1.6 Função e unidade funcional ACV

Definir claramente a *função* é um dos primeiros requisitos da análise do ciclo de vida. A *função* que será submetida à ACV é a utilização da água no Sistema Aquífero A4. Parece-nos aceitável que a água numa primeira fase seja considerada um recurso natural que se vai utilizar e desde então passa a ser um produto que se fornece aos diferentes utilizadores. Por outro lado, a *unidade funcional* é a medida do desempenho do produto água e dos serviços (uso da água). Ou seja, não é mais do que a avaliação de eficiência da utilização da água no seu sentido mais lato, isto é, sem dúvida, a ecoeficiência. Estamos, assim, não só atentos à eficiência dos sistemas de captação-tratamento-distribuição-uso-rejeição, públicos ou privados, mas também à avaliação do significado ambiental dessas acções. Estamos então perante um *produto* - a água - e um certo número de *sistemas de produção* - captação/tratamento/distribuição/uso/rejeição. Por *sistema* considera-se o conjunto de operações que no seu conjunto realizam uma função definida. No seio de cada *sistema* vão se poder definir *subsistemas* ou *processos unitários* separados. É na concepção desta decomposição dos sistemas

complexos em *processos unitários* que reside a maior ou menor aproximação à realidade e a possibilidade de atingirmos uma ACV verdadeiramente próxima da realidade e dos seus efeitos exógenos. Estes efeitos ou consequências são identificados pela descrição quantitativa de todos os fluxos de matéria e energia - *inputs e outputs* através dos limites do *sistema*.

1.6.1 Limites do sistema

O sistema é o conjunto de processos unitários ou subsistemas que, actuando num determinado tempo, realizam uma função definida. O sistema representa-se mediante um diagrama de processos que inclui, a montante, todos os processos de fabrico e transporte das componentes do produto e suas matérias-primas e, a jusante, todas as fases do ciclo de vida do produto.

As fronteiras do sistema limitam-no da sua vizinhança - na prática limitam o ambiente (o meio) do sistema. O meio envolvente (ambiente) fornece os *inputs* e recebe todos os *outputs* do sistema. A definição dos limites do sistema é muito importante, designadamente para se definir o que está fora do sistema. Um limite de sistema pode ser um limite físico, como todas as operações realizadas por um tipo de equipamento, ou estender-se além de uma operação física única. O estudo ideal do ACV do "ciclo da água" registaria todos os *inputs* e do mesmo modo todos os *outputs* até ao seu destino final. A objectividade do processo leva a que este âmbito seja muitas vezes impraticável de modo que a decisão de onde e como interromper a análise assume uma grande importância. Assim deverão, antes mais, ser definidos os critérios que nos conduzirão à definição do sistema, sub-sistemas e limites.

1.6.2 Definição de inputs e outputs

Com os sistemas, sub-sistemas e limites definidos, os sistemas são projectados num diagrama de fluxos de processo para mostrar a relação entre os diferentes processos unitários e assim identificar os inputs e outputs de cada

processo unitário. No presente estudo rompe-se, muitas vezes, com os standards deste tipo de abordagem. A própria água - o objecto de estudo - surgirá algumas vezes como inputs e outras como outputs. A norma ISO 14041 manda que se aborde o sistema utilizando diagramas, que se descreva cada processo detalhadamente e que se liste as categorias e qualidade dos dados.

A grande limitação da ACV é disponibilidade e a qualidade dos dados. No presente caso isso veio a confirmar-se. Todavia, alguns autores, designadamente a ISO aconselham que não se deixe de fazer uma ACV por se duvidar de um dado, sobretudo quando é a primeira vez que se aplica a ACV.

2. Do modelo à aplicação no A4

Definida e apresentada a ferramenta importa agora aplicá-la ao A4. Reportando à Figura 2.V, a síntese da metodologia ACV, bem conhecidos os objectivos, esta, pede-nos, essencialmente a análise de inventário e a avaliação de impactes. A Figura 4.V, ainda que de forma sintética, ilustra o “ciclo de utilização da água” em análise.

A análise de inventário mostra-nos que não conseguimos ir mais além do que analisar disponibilidades e os consumos considerando os impactes. Mesmo esta intenção será possível com grandes limitações. Muito provavelmente estas limitações vão muito além do que, apesar do explícito incentivo, muitos autores considerariam aceitável. Naturalmente que de parte ficam muitos aspectos que inicialmente admitimos como exequíveis. Entre estes destacamos, pela sua importância, três:

- i. custos, designadamente de captação, tratamento e distribuição;
- ii. balanço energético;
- iii. processos unitários – sub-bacia, subsector, etc.

Seguindo a bibliografia esta ACV será apenas um primeiro ensaio que possibilitará, no futuro, tão breve quanto possível, atingir outro nível de satisfação de tão importante matéria.

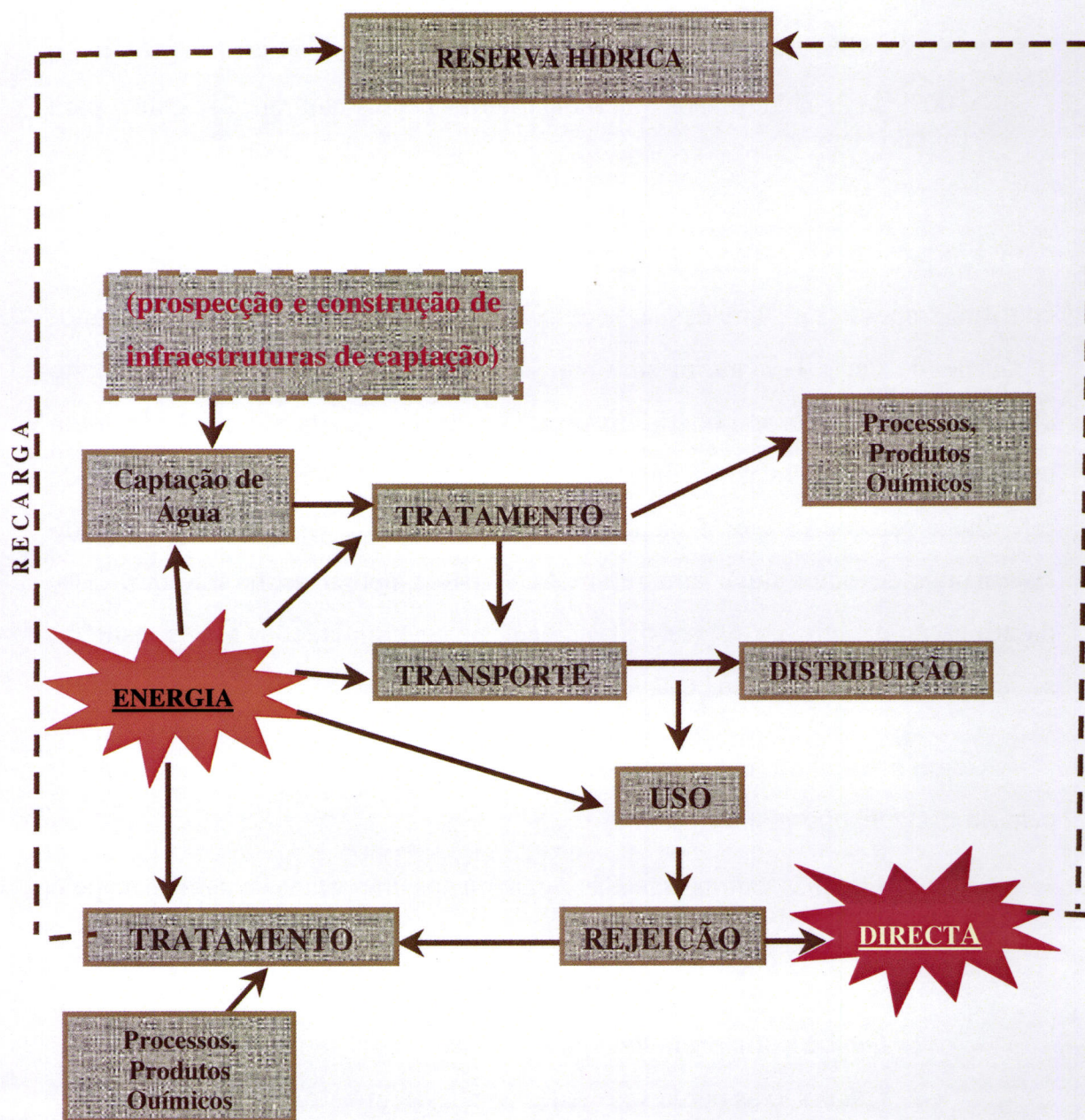


Figura 4.V - O ciclo de utilização da água para aplicação à ACV.

Pela realidade que conhecemos da zona em estudo e pelos dados obtidos (autarquias e INAG), consideramos, cautelosamente e de forma minimalista, alguns pressupostos:

- 80% dos efluentes domésticos não têm tratamento conveniente;
- 50% da água utilizada para rega tem algum efeito contaminante;
- 100% da água “utilizada” na indústria das pedras naturais é rejeitada para fora do sistema.

A Figura 5.V sintetiza a ACV possível onde se conclui, ou melhor, se confirma: apesar das grandes e sucessivas agressões a capacidade de auto-regulação do ciclo da água, mesmo num sistema cársico como o A4, vai muito além do que à partida se poderia imaginar. Os dados reportam a 2003, para um ano médio de precipitação. Considerando a qualidade da água como standart de referência percebe-se que é na fronteira da capacidade de auto-depuração do sistema que devemos situar uma futura ACV. Isto é, apesar de, no mínimo, 30% da utilização da água no A4 ser disfuncional, na generalidade, os níveis mantêm-se satisfatórios e a qualidade estável.

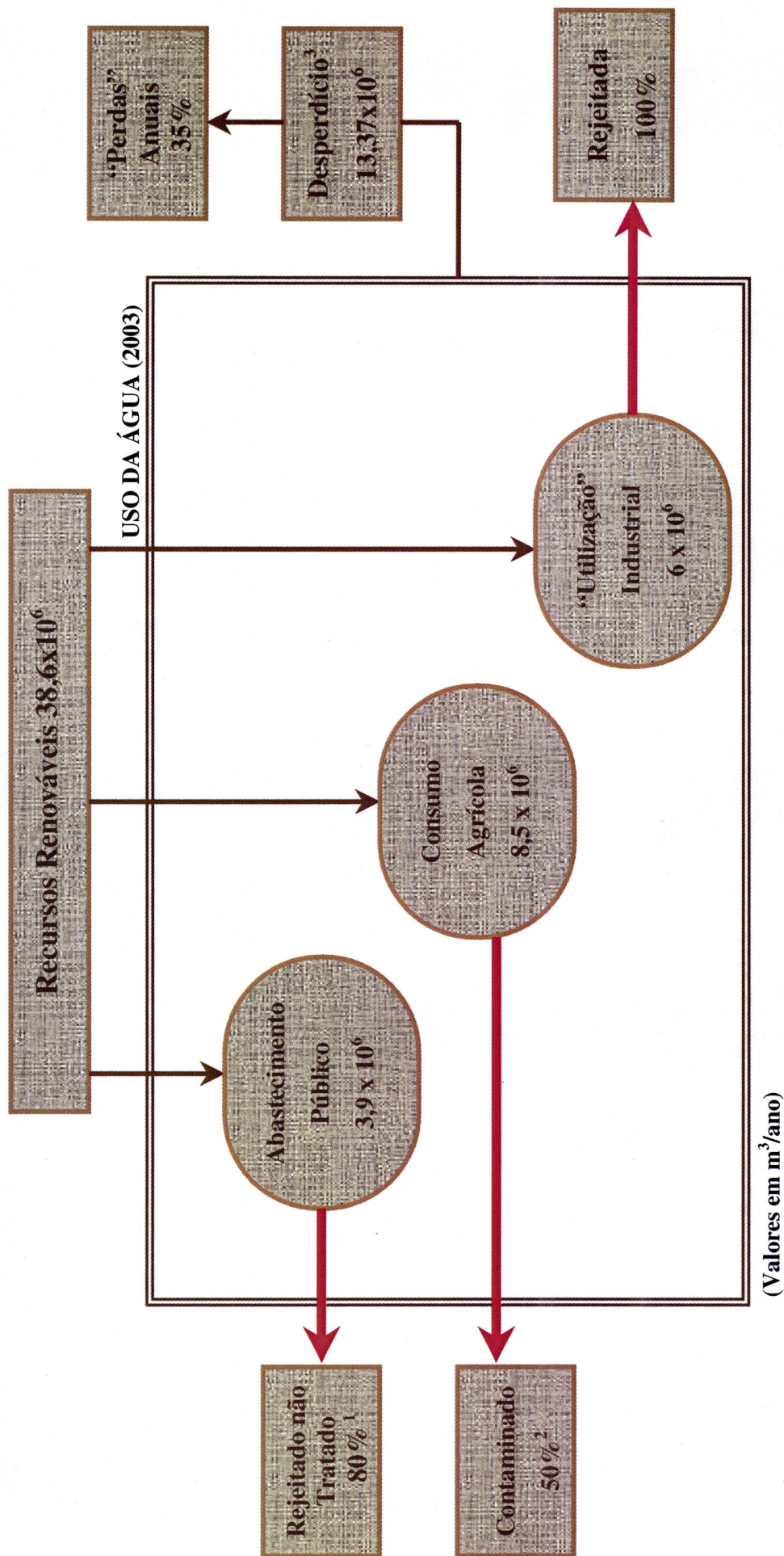
Como se aceitará, estamos, sem dúvida, apesar de tudo na presença de um cenário bastante optimista.

Restam algumas outras questões, não menos importantes, para que, pelo menos tenhamos um cenário mais ou menos próximo da realidade:

1. Qual é a eficiência da rega agrícola?
2. Quais são as perdas nas redes de abastecimento público de água?
3. Qual é a quantidade de água natural que garante a capacidade de autodepuração do sistema?

De facto, água é só uma e a resposta a qualquer das questões formuladas não é independente.

Por último, percebe-se, com facilidade, que a ACV é uma ferramenta muito interessante e que em matéria do ciclo da água, sobretudo no “ciclo de utilização da água”, poderá dar um contributo assinalável num modelo de gestão e utilização sustentável da água. Infelizmente resta-nos a plena consciência de não termos ido muito além do equacionar uma “questão” que sentimos, no mínimo, apaixonante.



1 – Estimativa otimista face aos dados disponíveis: autarquias e INAG.

2 - Estimativa optimista sabendo tratar-se essencialmente de regadio intensivo e das más práticas agrícolas generalizadas.

3- Considerando 80% do abastecimento público não tratado, os 50% do consumo agrícola contaminante e os 100% do uso não consumptivo da indústria.

Figura 5.V – Síntese da ACV – A4 (2003)

VI. A ÁGUA E A ROCHA NO PLANEAMENTO - (HIDRO)CARSOLOGIA APLICADA

1. Introdução

A alteração do maciço carbonatado de Estremoz, como qualquer outro desta natureza, está principalmente associada a fenómenos de alteração química (dissolução), regulados na sua essência pelas reacções de *equilíbrio químico* entre as fases sólida (rocha), líquida (água) e gasosa (ar). Deste conjunto de fenómenos resulta o modelado cársico associado também à formação de solos residuais do tipo “terra rossa”, de desenvolvimento muito irregular, mas que podem atingir vários metros de espessura. A maior ou menor espessura de “terra rossa” e seu carácter argiloso vão condicionar a infiltração nestas formações e o desenvolvimento de fenómenos cársicos. Apesar de não apresentar formas espectaculares ou extensas áreas de lapiás a **carsificação** ocorre com alguma frequência nas rochas carbonatadas, mais ou menos dolomitizadas do anticlinal de Estremoz. Curiosamente, **nunca esta importante, e sobretudo condicionante, característica física do território mereceu, ou influenciou, qualquer opção de planeamento**, Figura 1.VI.



Figura 1. VI –A carsificação no Anticlinal de Estremoz é ignorada no planeamento. (Foto: M^a João Figueiredo, Tterra)

A circulação da água meteórica, que na presença do CO_2 se comporta como um ácido fraco, começa por se fazer através das superfícies de descontinuidade – *anisotropia primária* (estratificação, falhas, contactos e diaclases) -, e falhas, promovendo a dissolução da rocha calcária e o consequente alargamento destas estruturas lineares, Figura 2.VI.

A tradução prática, económica e mesmo social do equilíbrio químico nestas rochas é grande. Ela traduz-se, entre outras:

- i. na actividade económica - extracção de rochas ornamentais, práticas agrícolas, isto é, no tamanho dos blocos (blocometria) e no próprio processo de lavra, e na maior ou menor existência de solo agrícola;
- ii. na conservação e manutenção de infra-estruturas – edifícios, estradas, distribuição de água, etc;
- iii. no risco geológico do tipo hidrogeotécnico;
- iv. na vulnerabilidade à contaminação.

Em regiões temperadas, como é o caso da zona estudada, a formação de estruturas cársticas, directamente dependentes da circulação de água, como as dolinas, estão associadas temporalmente a épocas de seca prolongada ou de chuvas muito intensas. Em termos hidrogeológicos as oscilações amplas e/ou rápidas do nível freático podem desencadear reajustes geomecânicos, sobretudo em carso coberto, explicável por processos de sucção ou simples perda do impulso de Arquimedes (Serra, 1996), Figura 14.VI. A Figura 3.VI mostra exactamente uma destas ocorrências, junto à linha do caminho de ferro. Na mesma figura é ainda possível notar a forma caricata como estes fenómenos são tratados. Normalmente as autoridades locais entulham estes “buracos” com os mais diversos materiais. Como se imagina a eficácia deste tratamento é praticamente nula. Pior é a situação em que estes sumidouros são utilizados para o depósito propositado dos mais variados resíduos, Figura 4.VI.



Figura 2.VI - Aspecto da dissolução do mármore devido à circulação de água subterrânea. Localmente designado por “crocas”, estas cavidades estão bem expostas em pedreiras, nas frentes de extracção. (Foto: Pedro Duarte, INAG)

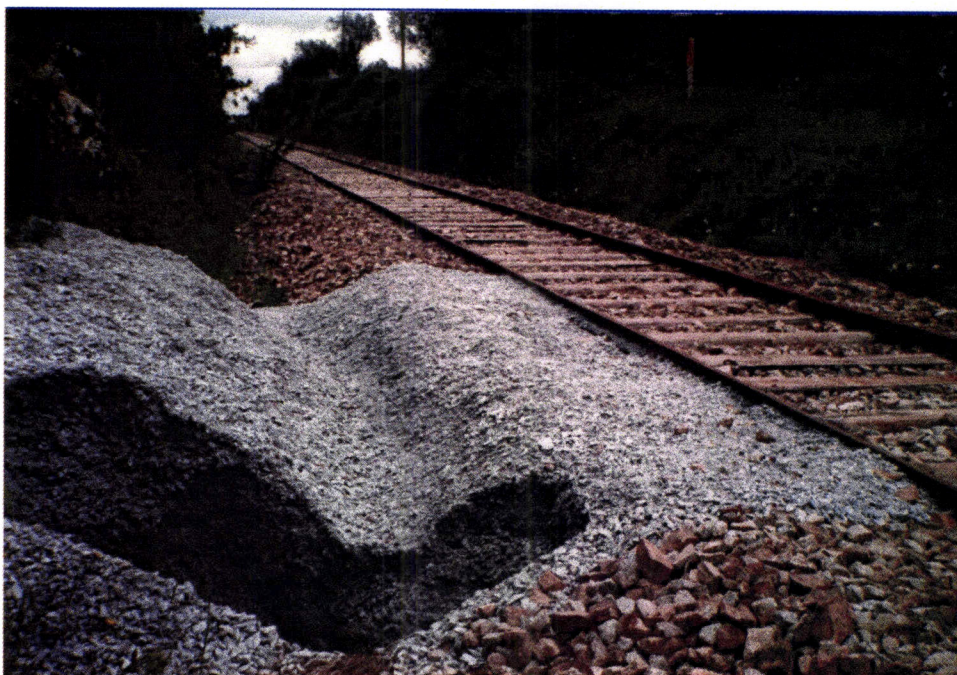


Figura 3.VI- Este tipo de abatimentos são muito comuns na ZM, sobretudo entre Borba e Vila Viçosa. (Foto: Pedro Duarte, INAG)



Figura 4.V I- Esta imagem (uma dolina com lixo) é tão comum quanto lamentável. Este abatimento ocorreu a uma escassa dezena de metros de uma urbanização recente em Vila Viçosa (Foto: Pedro Duarte, INAG).

Neste contexto geológico e climático, a este tipo de ocorrências naturais há a acrescer o efeito de indução que em todo o anticlinal se verifica mas que é

particularmente significativo na ZM pela actividade industrial e humana, designadamente devido:

- i. à descompressão do maciço pela extracção, em poço, de grandes volumes de massa rochosa;
- ii. a grandes cargas (aterros/escombreyras) impostas em pequenas áreas;
- iii. a vibrações resultantes dos equipamentos de extracção, sobretudo martelos pneumáticos e perfuradores;
- iv. a vibrações devidas a rebentamentos;
- v. a más práticas extractivas;
- vi. à circulação de veículos com grandes cargas – vibrações;
- vii. a vibrações resultantes das unidades de transformação de rocha;
- viii. a erros de urbanismo;
- ix. a má drenagem;
- x. ao rebaixamento e variação induzidos do nível de água subterrânea.

2. Riscos, segurança, ambiente e geologia

2.1 Introdução

No ponto anterior evidenciou-se que o contexto geológico-climático-actividade económica propicia um conjunto de fenómenos e situações conducentes a *risco*. Uns de natureza hidrogeotécnica que facilmente se traduzem em risco, essencialmente geológico, outros de natureza laboral decorrentes da intensa actividade associada à extracção e transformação de rochas ornamentais. E ainda uma geral situação a que podemos chamar *perigosidade social*, uma vez que afecta transversalmente toda a comunidade da zona, ou até mesmo visitantes.

Muitas vezes estas duas componentes de risco surgem associadas e as suas fronteiras são mal definidas. A actividade mineira, sobretudo a céu aberto, é considerada tradicionalmente como uma das actividades que origina maiores riscos e impactes ambientais. A ZM prova-o.

Neste contexto, não só é conveniente como necessário compatibilizar a actividade extractiva e transformadora no que toca a recursos minerais, com uma adequada gestão ambiental que respeite a manutenção e conservação dos restantes recursos existentes, a par com a aplicação de cuidadosas medidas de segurança.

Riscos, segurança e ambiente, cada vez mais estes três temas se associam. De igual modo, à medida que os trabalhos mineiros prosseguem – p.e., o aprofundamento das cavas – o risco aumenta e a segurança diminui.

2.2 Segurança na ZM

A segurança e higiene na ZM é um tema que desde há muito tempo tem vindo a preocupar um número cada vez maior de pessoas que directa ou indirectamente se relacionam com a actividade extractiva a céu aberto. Nos últimos anos, provavelmente, o sector da higiene e segurança na ZM foi aquele que mais evoluiu positivamente. Os resultados sentem-se pela diminuição significativa do número de acidentes de trabalho. Ao cumprirem-se as regras de higiene e segurança no trabalho está-se a introduzir um novo parâmetro na gestão da empresa, pois como se sabe a perda de um operário especializado traduz-se em danos familiares, sociais mas também empresariais. Dos riscos mais comuns destacam-se:

- i. quedas de pessoal;
- ii. quedas e projecção de pequenas pedras;
- iii. quedas e projecção de grandes pedras;
- iv. desabamentos;

- v. má utilização de explosivos;
- vi. acidentes com equipamentos e máquinas (Cupeto *et al.* 1995c).

Em 1995, Cupeto *et al.* 1995c, aquando da realização dos trabalhos de campo conducentes à elaboração do relatório do Projecto *Riscos, Segurança e Ambiente*, financiado pela Fundación Mapfre, constataram com surpresa, que cerca de 80% dos operários inquiridos já tinham tido pelo menos um acidente de trabalho. Felizmente a grande maioria destes acidentes são de pequena gravidade; todavia, a fronteira com ocorrências graves é muito pequena. No mesmo documento conclui-se que a solução passa essencialmente por quatro importantes medidas:

- 1. necessidade urgente de formação especializada em questões de segurança e higiene;
- 2. rigor técnico – acompanhamento por técnico especializado – na lavra e aplicação das boas práticas da arte;
- 3. mais e melhor planeamento;
- 4. desfasamento entre a legislação e fiscalização da tutela e a realidade.

A Tabela 1.VI sintetiza as situações mais comuns de risco associadas a uma pedreira na ZM.

A esta realidade estão associadas um conjunto de situações comuns que, muitas vezes, justificam o acidente:

- i. a (crónica) falta de formação dos operários;
- ii. má visibilidade;
- iii. poeiras;
- iv. ruído;

- v. gases tóxicos, em ambiente mais ou menos confinado fundo da pedreira;
- vi. exiguidade do local de trabalho;
- vii. dificuldades de acesso;
- viii. não utilização de equipamentos individuais de protecção;
- ix. e, a crónica e característica *excesso de confiança* dos mineiros.

Também nesta matéria o planeamento e a prevenção, é sem dúvida, o melhor e mais eficaz procedimento, designadamente através da implementação de:

- i. normas de trabalho;
- ii. procedimentos de operação correctos;
- iii. regulamentos de segurança;
- iv. acções de formação;
- v. boa manutenção dos equipamentos e das frentes de trabalho;
- vi. monitorização e controlo dos riscos naturais.

Na origem dos acidentes de trabalho estão quase sempre as falhas na aplicação e regras de segurança. Como facilmente se admite, mesmo por alguém que nunca tenha visitado uma pedreira, em Portugal, esta é meio ideal para que as situações de insegurança e de risco sejam muito comuns.

É igualmente neste contexto que a fronteira entre os diferentes tipos de risco é praticamente inexistente e muitas vezes as causas dos acidentes são tipicamente mistas.

A Figura 5.VI mostra a sinalética dos equipamentos de protecção individual (EPI) a que a lei obriga. Na ZM a maioria das pedreiras cumpre o requisito da lei na afixação do cartaz mas a grande maioria dos operários não usa EPI.

Tabela 1.VI - Síntese das principais causas, consequências e medidas minimizadoras do risco na Zona dos Mármorees.

Agentes de Risco			Medidas de Actuação	
Consequências			Empresariais e Gestores	Trabalhadores
RECURSOS HUMANOS	Cabeça	Falta de uso de Capacete	Formação; medidas internas penalizantes para o não cumprimento das normas	Sensibilização para os proveitos pelo uso de protectores.
	Olhos	Falta de uso de óculos protectores	Idem	Idem
	Ouvidos	Falta de uso de protectores auriculares	Idem	Idem
	Pés	Falta de uso de botas de biqueira de aço	Idem	Idem
	Mãos	Falta de luvas	Idem	Idem
	Nariz	Falta de uso de protectores de poeiras	Idem	Idem
	Corpo	Falta de uso de fatos macaco e impermeáveis	Idem	Idem
		Outras	Idem	Idem
	Médias		Limpeza de bancadas e frentes, utilização de protectores em vários equipamentos.	
	Médias e graves Acidentes nos trabalhadores		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Boas rampas de acesso; ✓ Limpeza dos pisos; ✓ Transporte da máquina por Grua com cabos de segurança. 	
RECURSOS TECNOLÓGICOS	Móveis pesados (<i>Dumper</i> , etc.)	Queda de máquinas ou projecção de pedras	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Manutenção adequada; ✓ Operador com experiência e especializado; ✓ Substituição atempada dos cabos. 	
		Queda da grua ou blocos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Protecção própria da máquina a utilizar em qualquer circunstância; ✓ Boas práticas. 	
		Ressalto de elementos cortantes e perfurantes	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Boas práticas. ✓ Utilização muito criteriosa destas máquinas 	
	Fio Diamantado	Queda e rotura	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Boas práticas. ✓ Utilização muito criteriosa destas máquinas 	
	Grua Móvel e <i>Crapaud</i>	Queda e rotura	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Boas práticas. ✓ Utilização muito criteriosa destas máquinas 	
	Taludes	Escorregamentos, queda de blocos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Retaludamento 	

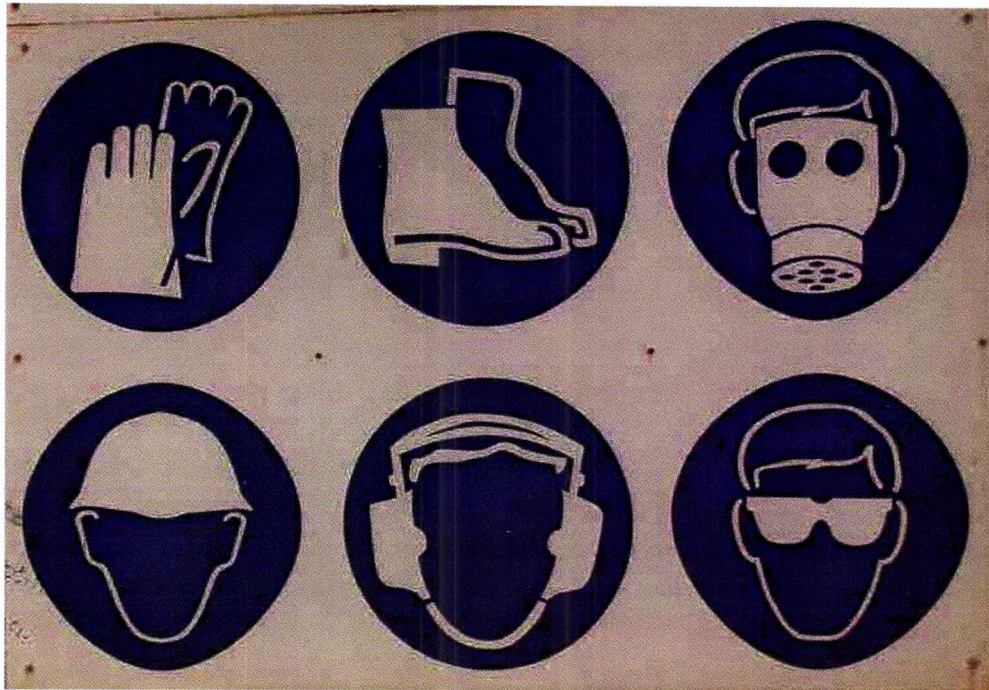


Figura 5.VI - Entre outros EPI, o uso de botas de biqueira de aço, o capacete e os protectores auriculares são essenciais à generalidade das tarefas numa pedreira.

O ruído é um dos principais impactes decorrentes da extracção de pedras, Figura 6.VI.



Figura 6.VI – O ruído é tão evidente que até parece “ouvir-se”. Apesar disso um dos operários não usa protector auricular.

As botas de biqueira de aço são essenciais. O seu uso deveria ser generalizado quer como botas para seco, quer como botas de borracha para locais inundados, Figura 7.VI.



Figura 7. VI – Numa pedreira a presença da água é uma constante.

Os acessos à frente de trabalho são, habitualmente, um dos aspectos mais críticos da segurança numa pedreira, Figura 8.VI.

Por outro lado o planeamento e correcto faseamento das tarefas na pedreira (lavra) é essencial para que o posicionamento e movimentação dos operários seja correcto e contribua para a diminuição do risco, de acidente, mineiro ou, até mesmo ambiental. A Figura 9.VI mostra o habitual ambiente de confusão e sobreposição de tarefas numa pedreira que contraria toda a boa prática.

Os patamares ou degraus são outro dos factores críticos da segurança de numa pedreira, Figura 10.VI. A lei refere patamares de dois metros que não existem em nenhuma das pedreiras da ZM. Os pequenos patamares existentes têm ainda a agravante de estarem cobertos de pequenas pedras soltas frequentemente em posições instáveis.

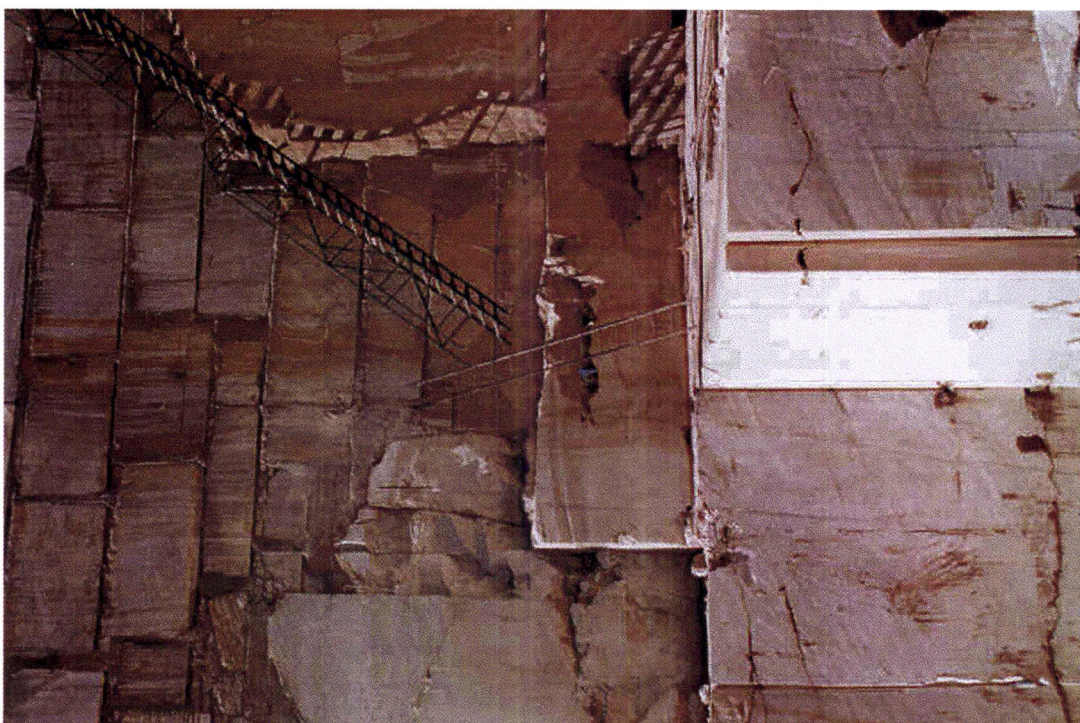


Figura 8.VI - Embora possa parecer inacreditável, situações como esta são vulgares.



Figura 9. VI - Nas várias frentes, às vezes em diversos degraus, as tarefas sucedem-se sem ter em conta a segurança.



Figura 10.VI- Esta situação é a comum na ZM.

2.3 Riscos Geológicos

Segundo o IGME (1987) entende-se por risco geológico, situação ou acontecimento no meio natural, induzido ou misto, que pode gerar um dano económico ou social em alguma comunidade, cuja previsão, prevenção ou correcção tem de empregar critérios geológicos.

A situação de risco hidrogeotécnico assume particular importância na ZM especialmente entre Borba e Vila Viçosa. A ocorrência de escorregamentos, escoadas de lama, quedas de blocos, abatimentos e todo o tipo de acontecimentos relacionados com a instabilidade de vertentes e taludes são, salvo situações críticas de má prática extractiva, condicionados pelo regime de precipitação. A forma como se distribui a precipitação ao longo do ano tem significativas repercussões neste tipo de fenómenos e na própria actividade extractiva.

Como se sabe, a área de extracção é uma estrutura complexa em anticlinal de rochas paleozóicas essencialmente carbonatadas. Esta estrutura está densamente afectada por vários episódios estruturais e vulcânicos. Estes factos levam a ocorrência de significativa fracturação e filões ácidos e básicos que naturalmente condicionam a circulação subterrânea. A Figura 11.VI ilustra o modelo de um aquífero cársico clássico. Entende-se que o A4 é bem mais complexo e diversificado levando a uma grande anisotropia da própria circulação da água e consequentemente dos riscos. Entre outros devemos considerar:

- i. grande variedade de rochas carbonatadas (dolomitos, calcários metamorfisados, mármore);
- ii. história geológica e estrutural complexa e variada – várias famílias de descontinuidades;
- iii. filões ácidos e básicos – comportamento hidrogeológico distinto e oposto;
- iv. grande quantidade de pedreiras e alterações mecânicas no maciço.

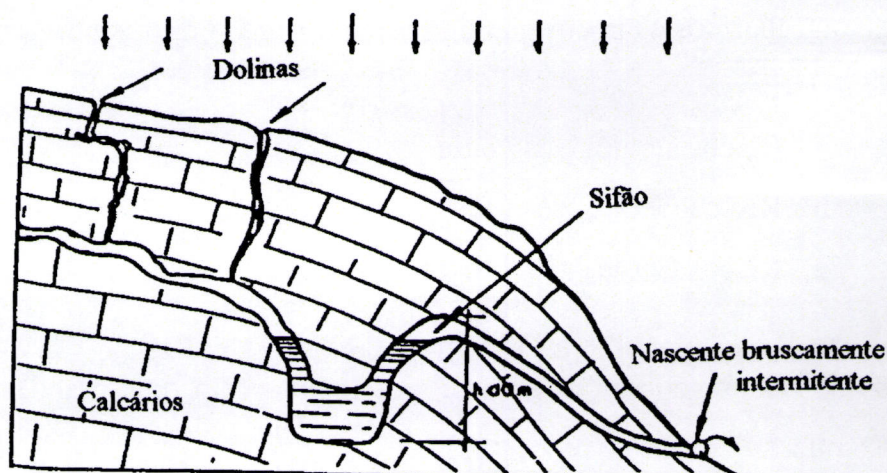


Figura 11. VI - Esquema de funcionamento de um maciço cárstico. (ad: Custódio *et al*, 1983)

De uma maneira geral, como confirmam algumas nascentes, com o seu funcionamento sazonal, motivado, não só por precipitações concentradas num determinado período do ano, como, pela fraca memória do sistema, a água é a grande causa da maioria dos riscos geológicos no A4 e em particular na ZM. Certamente que este modelo é muito afectado pelas interferências das pedreiras mas também pelo sistema de sifonagem associado a estas estruturas de descarga. Este tipo de estrutura cárstica pode levar à variação brusca do nível da água e por isso é responsável por muitos fenómenos de natureza cárstica, inclusive por possíveis variações na qualidade da água, Figura 12.VI.

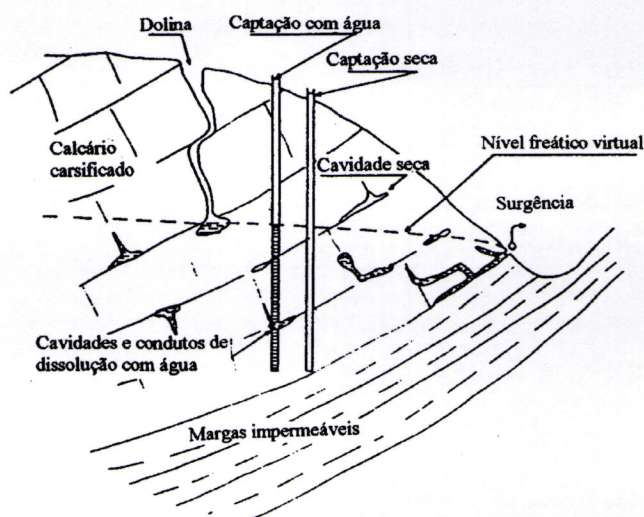


Figura 12.VI - Sistema Hidráulico que origina as variações bruscas de caudal de algumas surgências intermitentes em zonas cársticas (fonte: Custódio *et al*, 1983).

Ao agruparmos os riscos geológicos de acordo com a sua origem temos três tipos de riscos:

- i. Riscos Geológicos Naturais;
- ii. Riscos Geológicos Induzidos;
- iii. Riscos Geológicos Mistos.

Os de riscos geológicos **naturais** dividem-se em dois grandes grupos¹ de acordo com a sua génese e processos:

- i. Geodinâmicos Internos (ex. terremotos)
- ii. Geodinâmicos Externos (ex. subsidências naturais cárnicas).

Os riscos geológicos **induzidos** subdividem-se em:

- i. Rotura de barragens e escombrelras;
- ii. Subsidências induzidas
 - a. Hídrica;
 - b. Mineira.
- iii. Riscos Mineiros;
- iv. Riscos Geotécnicos;
- v. Esgotamento de recursos geológicos;
- vi. Contaminação da água e do solo.

Os riscos geológicos **mistos** subdividem-se em:

- i. Erosão/Sedimentação

¹ A negrito e sublinhado marcam-se os riscos predominantes na área de estudo.

- a. **Continental**
- b. Costeira

ii. Radioactividade Natural

Pela sistematização clássica e simples apresentada percebe-se com facilidade a grande aplicabilidade à situação em estudo e a significativa importância da água neste tipo de fenómenos.

Segundo IGME, (1987) a dinâmica e morfologia cársica contém uma série de processos activos dos quais podem resultar riscos naturais essencialmente mistos.

Desta forma se entendermos o meio cársico como um sistema aberto em contínua evolução no tempo e no espaço, com uma dinâmica cujo motor é fundamentalmente hidrogeológico, onde se desenrolam processos complexos de diversa índole, os principais riscos ligados ao carso podem ser classificados em:

- i. riscos geomecânicos (ex. subsidência de solos cársicos, desestabilização de vertentes e taludes, etc.);
- ii. riscos hidrogeológicos (ex. contaminação de aquíferos cársicos, intrusão salina em carso costeiro, etc.);
- iii. outros riscos (ex. concentrações radioactivas na atmosfera subterrânea, etc.).

2.3.1 Principais ocorrências no A4

2.3.1.1 Estabilidade e Rotura de Taludes

Segundo Costa (1992) existem alguns processos e riscos geológicos associados à exploração de pedreiras de mármore, aos quais poderão estar subjacentes algumas razões inerentes à especificidade de actividade extractiva como sejam, entre outras:

- i. grande mobilidade das frentes de trabalho;

ii. ausência generalizada de conhecimentos do comportamento do maciço, do ponto de vista geológico/geotécnico.

Em termos de riscos geológicos é de especial importância a estabilidade de taludes em pedreiras a qual assume geralmente duas formas distintas:

- i. instabilidade de taludes terrosos;
- ii. instabilidade de taludes rochosos.

Os maciços calcários da zona em estudo apresentam-se em geral, bastante fracturados, sendo esta uma das limitações ao tamanho de blocos comerciáveis que cada pedreira consegue produzir.

Neste caso, e perante a situação encontrada, talvez o termo descontinuidade seja preferível ao de fractura, fissura ou diaclase, uma vez que o conceito de descontinuidade é mais abrangente.

Assim, em termos de maciços rochosos, se essas descontinuidades se encontrarem preenchidas, por material terroso, eventualmente terra rossa ou outro material argiloso associado às estruturas filoneanas, a estabilidade dos taludes é ainda menor, uma vez que ficamos na presença de um material de natureza plástica, que quando expande actua como uma pressão intersticial no maciço, e, por outro lado, pode funcionar como lubrificante, quando contém água, Figura 13.VI. A gravidade deste comportamento do material argiloso é tanto maior, consoante a maior ou menor facilidade de contacto com a água. Ora, como é óbvio, os trabalhos mineiros a céu aberto, num universo de cerca de 250 cavas, expõem grandes áreas de taludes com grandes inclinações, a quase totalidade verticais, a maioria das vezes sem qualquer atenção às questões de estabilidade, já que a grande, quase exclusiva, e irresponsável, atenção vai para a extracção de blocos de mármore com valor comercial.

Embora o comportamento geomecânico dos maciços esteja largamente estudado (?), a complexidade das variáveis presentes no A4 é de tal maneira grande que as situações de risco são muitas vezes bastante superiores ao que seria

normal e, por isso, muitas ocorrências (deslizamentos, queda de blocos, abatimentos, etc.) acabam por acontecer.

Segundo Guidicini *et al* (1993) um maciço rochoso de calcário apresenta um ângulo de atrito da ordem dos 30° a 50°, enquanto que uma argila plástica (de natureza coesiva) apresenta um ângulo de atrito da ordem dos 5° a 7°.

Importante é a noção de ângulo de atrito interno (ϕ), associada às tensões existentes nas partículas do solo ou, às descontinuidades existentes nos maciços rochosos, e fundamental na maior ou menor probabilidade com que se dão deslizamentos de massas, tendo em consideração o ângulo de inclinação da descontinuidade (β) e a inclinação dos taludes (i).

Considerando a equação de Coulomb:

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi$$

em que:

- τ – tensão tangencial, resistência que os materiais (solo/rocha) oferecem ao corte; ou resistência ao deslizamento de diaclases (no caso de maciços rochosos ou terrosos, com diaclases que tenham uma direcção e inclinação (β) favoráveis ao deslizamento de taludes de massas de rochas e/ou solos (em relação à face do talude que também tem uma inclinação i);

- σ – tensão normal (em relação às forças de corte).

E ainda, os parâmetros de resistência ao corte que permitem que o material resista ao corte ou, as diaclases ao deslizamento:

- c - coesão;

- ϕ - ângulo de atrito interno (das partículas ou, nas superfícies das diaclases se for o caso)



Figura 13.VI – Todo o tipo de situações favoráveis a escorregamentos podem ser encontradas na ZM. (Fotos: M^a João Figueiredo Tterra).

O ângulo de atrito para os materiais terrosos da zona de estudo foi determinado, e situa-se entre os 25° e 27° (Serra & Cupeto, 1996).

O deslizamento de uma massa poderá acontecer logo que o ângulo de inclinação do talude ultrapasse o valor do ângulo de atrito do material rochoso ou terroso.

Em pedreiras de rochas ornamentais, a instabilidade dos taludes, assume geralmente quatro formas distintas, em que a água (superficial e subterrânea) tem um papel mais ou menos activo (para além de outros, tais como cargas adicionais no topo dos taludes, desmonte na base de apoio do talude, etc.):

- i. queda de blocos, seja por acções de escorregamento ou por tombamento;
- ii. roturas segundo cunhas rochosas;
- iii. deslizamentos rotacionais ou planares;
- iv. qualquer combinação dos mecanismos anteriores.

A Figura 13.VI mostra esquematicamente todas as variantes de escorregamentos de massas sólidas, comuns na ZM.

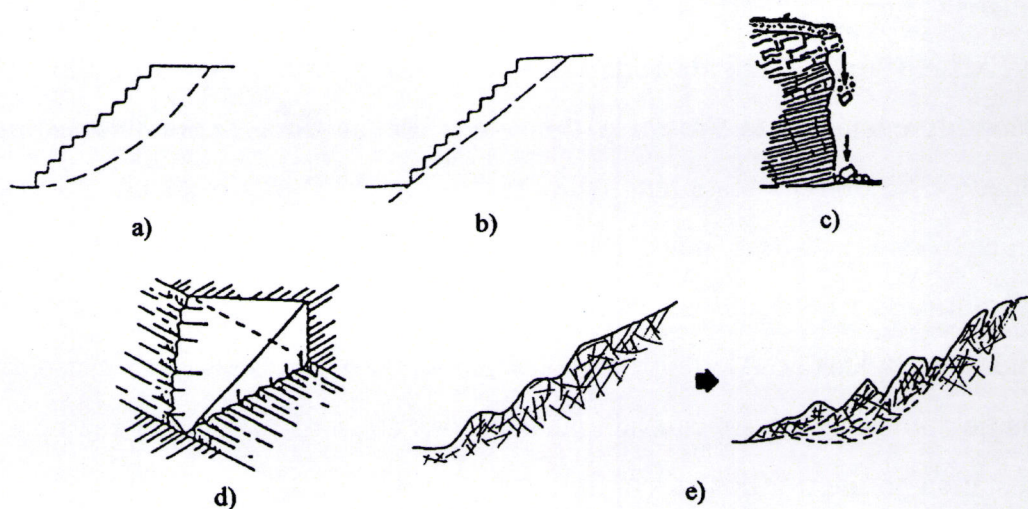


Figura 13.VI - Tipos de rotura mais frequentes: a) rotura por deslizamento circular, muito comum na ZM; b) rotura por deslizamento planar; c) queda de blocos por erosão diferencial, no caso da ZM é também frequente a queda de blocos devido à má lavra; d) rotura por deslizamento em cunha, muito comum na ZM; e) deslizamento rotacional múltiplo em maciços rochosos muito fracturados, muito comum na ZM. (IGME, 1987; ITGE, 1989)

Outro processo de instabilidade consiste na formação de cunhas com geometria tetraédrica situadas junto às arestas superiores dos taludes. Estas são formadas pela conjugação de duas famílias de fracturas intersectando a superfície do talude. Esta situação será tanto mais grave, quanto mais abertas estiverem as descontinuidades e se preenchidas com material argiloso, de natureza plástica, sob influencia do nível piezométrico.

A rotura por deslizamento circular é típica de maciços terrosos, onde o ângulo de inclinação do talude terroso coesivo é maior que o ângulo de atrito interno do material. Este fenómeno é muito frequente na ZM. Na parte superior do talude, surgem fendas de tracção enquanto que na região do pé do talude o material sofre compressão, representando o elemento mais importante no escorregamento. (Guidicini *et al*, 1993). Na região os solos são essencialmente argilosos, absorvem muita água mas têm dificuldade em cedê-la dando origem a que fiquem saturados, devido aos ângulos dos taludes nas pedreiras (quase sempre verticais) de uma forma geral, serem próximos de 90°, faz com que, frequentemente, ocorram deslizamentos ou escorregamentos de solos, que por vezes arrastam camadas e blocos de alguma dimensão. Além de elevados prejuízos materiais este tipo de ocorrência tem levado à perda de vidas.

Existem ainda casos de rotura em pedreiras devido a queda de blocos por erosão diferencial. Esta erosão é típica em rochas duras, com taludes muito inclinados. Na origem deste fenómeno, para além da (i) predisposição do maciço - cunhas rochosas; alternância de rochas com várias competências, etc. – estão, entre outras as (ii) acções alternadas de calor e de frio, as grandes amplitudes térmicas tão típicas no Alentejo, (iii) o congelamento e subsequente degelo, (iv) a perda de apoio dos blocos causada pelas acções erosivas da água, e a (v) pressão hidrostática no interior das descontinuidades subverticais.

Tudo o em cima se refere é agravado por operações comuns na actividade extractiva, tais como, cargas adicionais no topo dos taludes, desmonte de base de apoio do talude, etc.

É então óbvio que o conhecimento local da fracturação, e da actividade extractiva no caso da ZM, é essencial para uma boa estabilidade geomecânica dos taludes nas pedreiras.

2.3.1.2 Elevação da Coluna de Água em Descontinuidades

O chamado *efeito de elevação da coluna de água* ocorre em blocos ou massas rochosas de baixa permeabilidade intrínseca, separados por juntas, diaclases, planos de fraqueza de razoável continuidade lateral. É este o caso do A4, em particular nalguns sectores como a zona dos mármore.

A pressão da água no maciço rochoso age perpendicularmente aos planos das descontinuidades. Quando o maciço rochoso é intensamente fracturado, a pressão da água no interior da massa rochosa pode ser tratada de maneira análoga à utilizada no caso de massas de solo, reconhecendo-se nela certa continuidade e regularidade.

Aqui, na ZM, o nível piezométrico sofre flutuações muito mais bruscas nos meios rochosos contíguos a taludes em virtude da menor permeabilidade da rocha que dos meios essencialmente terrosos. A Figura 14.VI mostra os efeitos sobre o maciço rochoso, de uma chuvada de 25 mm ($1\text{mm} = 1\text{ l/m}^2$) que se infiltre totalmente num talude, seja no meio poroso do solo ou no meio rochoso.

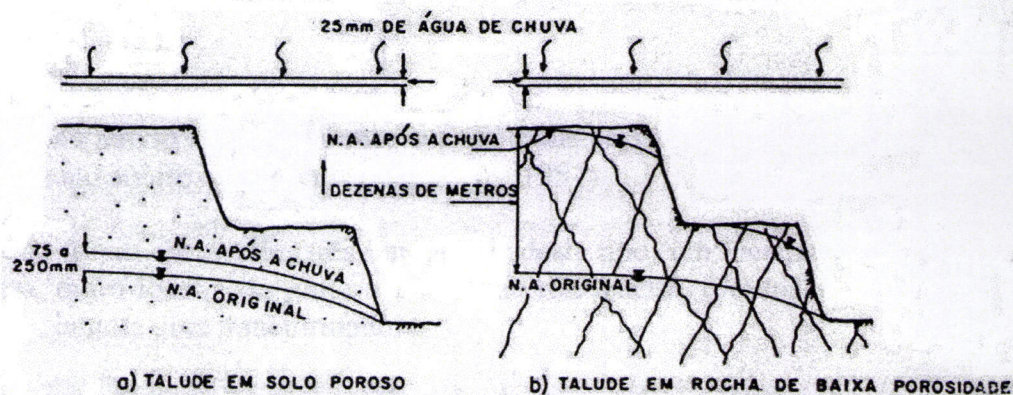


Figura 14.VI - Comparação dos efeitos sobre o nível de água subterrânea de uma chuvada sobre o maciço terroso (a) e fracturado rochoso (b) (Guidicini , 1993).

No solo, a chuva provocará uma elevação do nível piezométrico de 75 mm para 250 mm, admitindo porosidades de 33% e 10% respectivamente. Entretanto, a mesma chuva, num talude rochoso fracturado (o que ocorre na área em estudo), provocará uma elevação da ordem de metros ou até mesmo, dezena de metros, o que é prejudicial, isto é, fatal, em termos da estabilidade dos taludes (Guidicini, 1993).

2.3.1.3 Abatimentos em dolinas e outras estruturas cársticas

Em regiões temperadas, as dolinas (e todo o tipo de abatimentos) estão associadas temporalmente a épocas de seca prolongada ou chuvas muito intensas, em termos hidrogeológicos, as oscilações amplas e/ou rápidas do nível freático podem desencadear reajustes geomecânicos, sobretudo em carso coberto como é o caso de algumas das zonas do A4, Figura 15.VI.

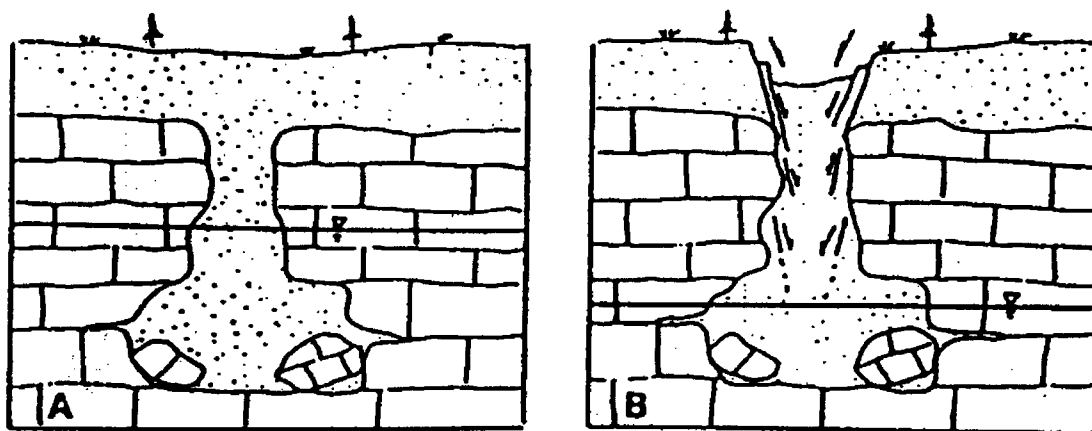


Figura 15.VI - No esquema A e B mostra-se de forma clara e simples o efeito de Arquimedes provocado pela circulação e variação do nível de água. Em todo o anticlinal mas particularmente na ZM este fenómeno é comum. (in: IGME, 1987)

Este tipo de situações foram particularmente estudas na Zona entre Borba e Vila Viçosa onde são comuns situações críticas pondo em causa bens e pessoas.

A sobreexploração dos aquíferos cársticos e a drenagem de minas a céu aberto ou subterrâneas em materiais carsificados (com o consequente

rebaixamento do nível da água) são duas das principais causas do aparecimento súbito de abatimentos (IGME, 1987).

Entre Borba e Vila Viçosa foram observados três fenómenos deste tipo: um localizado junto a uma pedreira e linha-férrea, outro junto a uma zona residencial e outro na estrada de Vila Viçosa para Borba, junto a uma fábrica transformadora de rocha ornamental (Serra & Cupeto, 1996), Figuras 3.VI; 4.VI; 16.VI.



Figura 15.VI - A estrada Nacional 255, entre Vila Viçosa e Borba é um bom exemplo, crónico de abatimentos. Nesta curva, no local assinalado (na berma), é comum, anualmente na época das chuvas, ocorrer um significativo abatimento.

Segundo Serra & Cupeto (1996) a localização deste tipo de fenómenos não é aleatória, estando a mesma intimamente relacionada com a influência da bombagem de água das pedreiras e com os principais alinhamentos das condutas cársicas.

Assim, qualquer tipo de planeamento, urbano, mineiro, hídrico, etc., terá obrigatoriamente que observar atentamente esta matéria.

VII. PLANO DIRECTOR DA ÁGUA

1. Enquadramento

Água, um “direito” ou um “dever”? Esta, é, sem dúvida, a questão base e fundamental. Como nos posicionamos, qual a nossa atitude, enquanto cidadãos e actores institucionais ou usuários?

Quando se fala em gestão da água é mais verdade que **“os pequenos actos que se executam são melhores que todos aqueles grandes que se planeiam”** (George C Marshall). Em tempos remotos um velho marinheiro gritou: “água, água, por todo o lado mas nem uma só gota para beber”. Esta é uma realidade cada vez mais verdadeira e razoavelmente global: a água é um bem escasso. A pergunta é: quanta água pode ser consumida sem que o sistema entre em ruptura?

Segundo Llamas (1996) parece claro que presentemente os sistemas de aproveitamento hídrico são menos vulneráveis quando podem utilizar conjuntamente recursos superficiais e subterrâneos: os primeiros utilizam-se, essencialmente, durante os períodos húmidos, e os segundos durante os períodos secos. Esta é a regra de ouro fundamental. Quantas vezes é considerada? Por isso, Brumbaugh *et al.* (1994), na sua análise sobre as lições aprendidas na seca de 1987-1992 na Califórnia, considera que a primeira lição aprendida é que **“a água subterrânea continua sendo a mais efectiva resposta unitária contra a seca”**. No Sul de Portugal, isto mesmo, nos últimos períodos de seca (1992 e 1995) foi confirmado: a água subterrânea constituiu a mais eficaz, senão a única, ferramenta de luta contra a seca.

À parte de situações extremas parece-nos incontornável, que no início do Séc. XXI, e quando a água assume, cada vez mais, valor estratégico fundamental para o desenvolvimento social e económico duma região, uma unidade hidrológica com a importância do A4, tenha um plano integrado de gestão da água.

Os planos existentes PNA, PBH e PROZOM não vieram colmatar esta necessidade mas antes evidenciá-la.

O A4 é “partido” ao meio pela linha de separação entre a bacia do Tejo e do Guadiana, dividem-no o Norte Alentejano e o Alentejo Central, o Distrito de Évora e o de Portalegre, cinco Concelhos - outros tantos PDMs –, as Águas do Norte Alentejano (Sousel), as Águas do Alentejo Central (Borba), um sem fim de utilizadores e grupos de interesse (regantes, industriais, viticultores, olivicultores, criadores de gado, adegas cooperativas, etc.), uma infinidade de Associações de Desenvolvimento Local e outros actores locais e, entre outros, uma Área Cativa (Zona dos Mármore). Isto é, tudo convida para uma gestão (?) fragmentada, partida, e por isso penalizante, e não responsabilizada da água. É pois este o contexto administrativo e natural em que assenta a utilização e rejeição da água no A4 e que conduz à necessidade de configuração de um plano integrado e conjunto.

Em Setembro de 2002 a Cimeira da Terra em Joanesburgo apontou claramente, **“elaborar planos de gestão eficiente da água”** como um dos principais objectivos da política de sustentabilidade que a diferentes níveis os governos devem seguir. Provavelmente seria abusivo referir, mais uma vez, o documento de referência, a Carta Europeia da Água. Neste texto, há mais de trinta anos, que a questão está perfeitamente equacionada.

O Plano Director da Água do A4 (PDA-A4) não é mais que um plano estratégico, para a água, no A4. Tratando-se da água, estamos a tocar em (quase) tudo. A configuração de qualquer plano exige de forma muito clara a fixação de objectivos, uma visão clara do ciclo da água no A4 seguindo uma linha orientadora de uso sustentável - satisfação das necessidades e conservação do recurso.

Só pagando a água a um preço que corresponda pelo menos ao da sua distribuição haverá incentivo para usá-la com critério e regra. Todavia este não pode ser o único princípio para a gestão da água. Quando a água é paga esse valor será sempre relativo. E se poluir for a solução mais económica, mesmo com coimas, quem a vai impedir? Sem dúvida que inerente a toda a valoração existe

a possibilidade latente de desigualdade: quem pode pagar tem água; quem não pode fica sem ela. Sandra Postel (in: Ball, 2002) sintetiza com clareza o perigo de se encarar a água exclusivamente como um “bem económico”: o risco “está em que as funções económicas da água venham a superiorizar-se às suas funções de sustentação da vida, e que aos três pilares de sustentabilidade – eficiência, equidade e protecção dos ecossistemas - não seja dado igual peso.”

Na generalidade, para além de todo o conhecimento científico, o bom senso, aconselha que em Portugal os sistemas aquíferos passem a ser considerados como um elemento de regulação com uma lógica similar às barragens com o objectivo de gestão e utilização conjuntas, como determinam as condições climáticas semi-áridas em que vivemos (Lopez Geta, 1997).

Constituir uma **organização** que leve a uma gestão integrada da água em todos os níveis, tanto **verticalmente**: internacional, estatal, de bacia fluvial e de aquífero; como **horizontalmente**, entre diversos tipos de usos urbanos, ambientais, industriais, agrários, etc., é incontornável. Sobre esta matéria formulemos uma questão: no que respeita ao A4, como origem de água comum, as Águas do Norte Alentejano planificam e gerem a utilização da água em conjunto com as Águas do Alentejo Central e com as restantes três autarquias (Estremoz, Vila Viçosa e Alandroal) que não aderiram a qualquer dos sistemas? Claro que não, já se imaginou uma albufeira ser gerida assim?

Parece ser necessário, para não dizer indispensável, que o uso sustentável da água, em particular quando, como no caso, as reservas e origens são subterrâneas, seja gerido por uma entidade com a participação efectiva dos usuários. A grande diferença, comparativa com as águas superficiais, é o grande número de actores (usuários), independentes entre si, que intervêm num aproveitamento de um aquífero, isto é, não necessitaram de se por de acordo para a boa ou má, a exploração da água.

Não é aceitável que a componente subterrânea do ciclo da água seja tradicionalmente esquecida, quando não mesmo mal tratada, chegando-se a falar das águas subterrâneas, algumas vezes, como “o **problema** das águas subterrâneas”.

A reenviadação, justa, de atenção para as águas subterrâneas assenta exclusivamente nos recursos disponíveis, e, habitualmente, é completamente ignorada. A matriz da “rentabilidade” e da “eficiência” das águas subterrâneas, a que acresce a componente da “qualidade”, quiçá, cada vez mais, a sua maior mais valia, deve ser integrada no planeamento da água, e não constituir o parente pobre, triste e desprezado do ciclo hidrológico. Económica e ambientalmente esta realidade não sustentável.

Se compararmos, alternativamente, os custos de um regadio dependente de uma origem subterrânea ou superficial qual a conclusão a chegamos? E quando falamos de desperdício de água, em termos de eficiência de rega?

Segundo, Durán Valsero (1995) “à medida que avança o crescimento económico, o conflito entre as funções ambientais da água e os distintos usos possíveis desta e a sua envolvente, tendem progressivamente a agudizar-se. Neste sentido pode dizer-se que a “escassez” de água, mais que física, é económica, e vem representada pela aptidão, tanto quantitativa como qualitativa, entre actividades económicas e ambientais, ambas necessitadas do líquido elemento”. Esta constatação parece-nos incontestável e, além de grave, arrasadora. Num tempo de tantas reformas em nome da racionalidade de meios, da eficiência, da competitividade, será que esta realidade não é suficiente para alterar a motivação e os positivos (?) propósitos reguladores do Estado? Ou será que esses propósitos se ficam apenas por alguns sectores?

Como formular e aplicar uma estratégia que sustente um Plano Director da Água no A4, que cubra o valor justo da água, que defina quotas e que faça a **gestão óptima do aquífero?**

2. Escassez de água e outros aspectos ambientais no A4

No Sul do país, como se sabe, embora não existam situações graves permanentes de seca há uma nítida tendência, para a escassez de água, sobretudo se atendermos também ao cada vez mais importante factor da qualidade (Morais

et al., 2003). Estes períodos ocorrem em ciclos interanuais ou mesmo no próprio ano hidrológico (seca meteorológica). Embora a área em estudo seja positivamente diferente de vastas áreas do Alentejo as situações de seca não são raras e quem vive e trabalha num dos cinco Concelhos da área de estudo já sentiu situações destas várias vezes, designadamente no que respeita aos seus reflexos directos na qualidade da água.

Segundo o critério da ONU (1997) a escassez de água pode enquadrar-se em quatro estádios:

- i. *escassez de água reduzida*: países que utilizam menos de 10% dos seus recursos renováveis de água doce;
- ii. *escassez de água moderada*: países que utilizam entre 10% e 20% dos seus recursos renováveis de água doce;
- iii. *escassez de água média-alta*: países que utilizam entre 20 e 40% de recursos renováveis de água doce;
- iv. *escassez de água alta*: países que utilizam mais de 40% de recursos renováveis.

Sabendo o que estes estudos valem e, sobretudo o jogo que é possível fazer com este tipo de números, em Março do corrente ano a ONU, poucos dias antes do Fórum Mundial da Água que se realizou em Quioto, divulgou um estudo intitulado “**Água para o Homem, água para a vida**” onde se pretende fazer a análise mais completa e actual sobre os recursos hídricos no mundo. Entre 122 países Portugal surge em 11º lugar “onde se encontram melhores rácios de qualidade e vontade e capacidade para melhorar as condições das suas águas.” A leitura simples desta honrosa posição poderá conduzir a conclusões erradas. Basta considerar o PNA, os diferentes PBH, ou o próprio PNUEA para se perceber que o cenário não é tão optimista e que os “rácios de qualidade e vontade e capacidade para melhorar as condições” das nossas águas serão mais virtuais do que verdadeiros.

Assim, sendo o A4 substancialmente diferente da generalidade do Sul do país, a sua classificação andar  pela “*escassez de água moderada*”. Todavia, se se considerar a qualidade da água, designadamente no que respeita para consumo humano, já que o A4   origem de água para esse fim, então   provável que em muitos anos hidrológicos a situação seja um pouco mais grave. Se associarmos ainda a falta de gestão do aquífero, então, é prudente não aceitar uma situação tão favorável como a que traduz o relatório da ONU.

2.1 A importância do A4 no contexto regional

Devido à irregularidade com se distribuem os recursos hídricos disponíveis a gestão e os problemas de escassez devem ser abordados no âmbito regional. Assim, t mb m a gestão do recurso deverá ser feita a nível regional, como se sabe não é isso que se passa no A4. Aqui, como no geral, se não se conduzir o uso da água para uma gestão conjunta, e não fragmentada, como agora acontece, a concorrência entre a agricultura, indústria e o abastecimento público tenderá a aumentar. Por outro lado só uma boa gestão poderá minimizar a pressão sobre a água no que respeita à repartição de recursos em bacias inter-regionais, internacionais, ou na disputa inter-sectorial. Já em 1968, a Carta Europeia da água, nos seus 12 artigos,   inequívoca no apontar a necessidade da gestão da água como recurso. Desde então, em vários momentos e ao mais alto nível a necessidade de mudança é reafirmada e a Directiva Quadro da água constitui um marco de referência na política e gestão da água na UE, designadamente em três aspectos fundamentais:

- i. a protecção da qualidade da água;
- ii. a bacia hidrográfica como unidade de gestão;
- iii. o princípio do “utilizador – pagador”.

Considerando o segundo ponto trona-se evidente uma dificuldade natural no enquadramento da gestão integrada do A4; precisamente a sua repartição, quase equitativa, por duas bacias: a Norte o Tejo e a Sul o Guadiana.

Apesar de a simples análise necessidade/disponibilidade no A4 mostrar uma folga positiva muito grande no que respeita aos recursos disponíveis devemos interpretar esses números com alguma atenção, além de uma forma meramente aritmética. Isto é, apesar da presença de água relativamente abundante em todo o A4, com frequência esta não se encontra disponível de forma natural no lugar e no momento em que se necessita, o que lhe confere um carácter de recurso escasso. As características climáticas vigentes, e bem assim, a natureza cárstica do aquífero tornam ainda a questão da variabilidade temporal, e mesmo espacial, do recurso mais pertinente.

De qualquer maneira, incontornável é o facto do A4 servir de suporte a um conjunto de usos, além do próprio abastecimento a cinco Concelhos, de grande importância regional e mesmo nacional, como é o caso das rochas ornamentais.

Todavia a escassez de água na zona do A4 não se deve somente a causas naturais. Aqui, como em todo o país, a **ausência de gestão e o desperdício** são talvez as maiores causas da falta de água, entre essas causas podem-se destacar:

- i. total ausência de gestão conjunta, água superficial-água subterrânea;
- ii. utilização das origens não atendendo ao funcionamento natural do sistema aquífero;
- iii. subestimação de consumos;
- iv. perdas de água;
- v. má configuração das redes de distribuição;
- vi. falta de manutenção das redes de distribuição;
- vii. falta de um plano de gestão da água;
- viii. más práticas agrícolas - rega inadequada;

- ix. água muito a baixo do custo – gratuita;
- x. utilização de espécies vegetais (agrícolas e ornamentais) de grande consumo;
- xi. má utilização da água por particulares, empresas e sector público;
- xii. esgotamento de albufeiras segundo as necessidades energéticas e de rega;
- xiii. consumo urbano elevado.

As principais **consequências locais/regionais destes episódios de falta de água** são de natureza ambiental, social e económica, designadamente:

- i. degradação da qualidade da água;
- ii. rebaixamento regional do nível piezométrico;
- iii. cortes no abastecimento público;
- iv. maiores custos (não assumidos) para satisfação do serviço público – transporte de água, redes de abastecimento, etc.;
- v. aprofundamento das captações;
- vi. *stress hídrico* dos ecossistemas naturais, designadamente nas áreas de descarga e nascentes;
- vii. afectação das áreas de regadio – hortas, pomares, olival, milho e tomate, estes últimos no Concelho de Sousel;
- viii. afectação da actividade industrial – zona dos mármore;
- ix. maiores custos para as actividades económicas;
- x. efeito negativo na qualidade de vida dos cidadãos, sobretudo crianças e jovens – fecho das piscinas municipais nas sedes de Concelho.

Como alterar esta situação de **ausência de gestão e desperdício**, em tempo, ou não, de escassez?

A solução, nesta como noutras matérias, está na boa utilização da água, assente numa gestão cuidada e integrada do recurso considerando a **partilha de responsabilidades**. Antes de mais é necessário que todos, privado e público, colectivo e individual, tomem consciência do “custo” da água, desde logo este é um passo que se mostrará determinante. Estamos em crer que a próxima, incontornável, aproximação do preço da água para valores da ordem do seu custo real, associada a uma maior fiscalização e controlo das captações privadas, é importante para a alteração da ilusão, profundamente enraizada na mentalidade das pessoas, de que a “água é grátis e infinita”.

Entretanto vale a pena configurar e implementar adequadas campanhas de educação ambiental para a boa utilização da água, tanto ao jeito das autarquias e de algumas entidades com responsabilidade no sector? Há no país conhecimento de algum sucesso decorrente de campanhas deste tipo? Duvidamos que este tipo de campanhas seja positivamente consequente antes que adequados instrumentos de planeamento e gestão sejam implementados. Neste pacote de, necessária, mudança, está evidentemente à cabeça o já referido custo da água para cada tipo de utilização. Se as comunidades de regantes pagassem o justo valor pela água que utilizam, alguém dúvida que os elevados valores de perdas e desperdício baixariam abruptamente?

2.2 A importância do risco no A4

Como se sabe, além de tudo, o A4 é um sistema aquífero essencialmente de características cársticas, o que lhe confere grande vulnerabilidade. Em “Os aspectos concernentes à água no planeamento civil de emergência” (Rodrigues *et al* 2003) apontam para um conjunto de situações tipo que constituem um considerável risco para um aquífero como o A4. Estes riscos devem ser convenientemente identificados e avaliados na perspectiva do planeamento de emergência assente em planos de contingência. No referido trabalho são apontados alguns exemplos recentes de ocorrências em Portugal em aquíferos

cársicos, os mais vulneráveis. O mesmo trabalho designa estas ocorrências como **acidentes de poluição**. Os episódios exemplificados são o mediático caso de Leiria (contaminação do aquífero cársico que abastece a cidade) e a contaminação do aquífero Querença – Silves devido ao incêndio numa unidade industrial com substâncias perigosas. No que respeita ao Maciço Calcário Estremenho há ainda a referência ao risco do transporte rodoviário de substâncias perigosas através da A1.

Qualquer destas situações, digamos tipo, é bastante susceptível de acontecer no A4. Embora a actividade industrial não seja predominantemente contaminante há diversas situações de eminente risco de poluição disseminados por todo o A4, designadamente:

- i. pecuárias sem tratamento de efluentes;
- ii. zonas de intensa actividade agrícola;
- iii. armazéns de substâncias perigosas (tintas e solventes, produtos químicos pecuários) de apoio à actividade económica.

Por outro lado, o A4 é cortado, a Sul de Estremoz, pela auto-estrada que liga Lisboa ao Caia (A6).

Além destes aspectos há a considerar ainda riscos naturais com forte probabilidade de ocorrência:

- i. subsidência, sobretudo no eixo Borba -Vila Viçosa; fenómeno comum na zona, com danos humanos e prejuízos materiais registados, Figura 1.VII;
- ii. inundações, sobretudo na envolvente de Borda e urbanas em Vila Viçosa;
- iii. solifluxão (liquefacção de solos) em Cano.

Qualquer dos três tipos de acontecimentos são bem conhecidos da população. Periodicamente a estrada nacional N° 255, entre Borba e Vila Viçosa é parcialmente cortada devido a consideráveis abatimentos. A última intervenção correctiva levou, à construção de uma placa em betão, subjacente à via, de forma

a tentar controlar eficazmente a situação. No mesmo alinhamento do desenvolvimento cárstico que está na causa das ocorrências na estrada, situa-se uma unidade industrial de transformação de mármore.



Figura 1.VI I - Os abatimentos na ZM são considerados normais. Todo o tipo de planeamento, a qualquer escala, ignora este tipo de fenómenos. (Foto: M^a João Figueiredo, Tterra).

Por várias vezes esta fábrica foi afectada e teve graves prejuízos, inclusivamente com o abatimento do suporte de algumas máquinas.

Em Cano, zonas há, onde a simples fundação de uma habitação térrea, típica alentejana, devido a fenómenos de solifluxão, pode trazer grandes surpresas e dificuldades.

Como se sabe este tipo de características e ocorrências tem implicações directas na qualidade da água. No A4 como em qualquer outro aquífero, ou origem de água, a qualidade desta é cada vez mais importante. Como se sabe, não basta ter água disponível, é necessário considerar a sua qualidade. Sabendo que estamos num aquífero cársico com uma grande variedade de utilizações do solo o factor “qualidade” ainda assume maior relevância.

3. Recolha e avaliação das informações

Um bom Plano de Gestão depende, antes de tudo, da qualidade das informações sobre as quais se fundamenta. A recolha destas informações ou dados deve responder de forma muito clara à seguinte questão: **quais as hipóteses do PDA conciliar com sucesso o binómio utilização-conservação?**

3.1 Planeamento e formulação do plano estratégico

O planeamento e configuração do PDA deve responder aos objectivos definidos muito claramente. Isto é, as linhas orientadoras a seguir pelo Plano na condução da utilização da água no A4.

3.1.1 Vulnerabilidade e risco de contaminação no A4 – factor crítico ao planeamento e formulação do PDA - A4

Sobre esta matéria muito se tem escrito e dito. É comum a confusão dos conceitos vulnerabilidade, perigosidade que, muitas vezes, são usados indiscriminadamente. Fetter (1994) entende a vulnerabilidade de um aquífero como a sua maior ou menor susceptibilidade à contaminação. Por outro lado a

perigosidade de um aquífero ser contaminado relaciona-se com a probabilidade disso acontecer, enquanto que ao termo risco está sempre associado ao dano económico ou material. Torna-se então óbvio que **mais relevante que a vulnerabilidade é a perigosidade.**

É comum, na generalidade das situações, e no A4 também, o risco ter aumentado consideravelmente, já que os danos económicos e sociais decorrentes dos episódios de contaminação, cada vez mais vulgares e graves, são, cada vez maiores. Assim, uma infinidade de métodos e índices para determinação da “vulnerabilidade” de um aquífero têm sido conceptualizados e testados. Existe uma marcada tendência para traduzir o **Risco de Contaminação de um Aquífero** no produto entre a sua vulnerabilidade com a carga contaminante. Todavia, a prática mostra que tão complexa matéria não é condicionada “apenas” por estes dois importantes factores. No próprio A4 inúmeras situações locais provam que cada caso é um caso e que nesta matéria o mais relevante é um profundo estudo geológico-estrutural.

3.1.1.1 Casos de estudo no A4

Um bom exemplo constituem as captações das Techocas no Concelho de Estremoz. Neste local existem as mais importantes captações para o abastecimento do Concelho. Trata-se de um conjunto de três furos, localizados a 7 km de Estremoz, que asseguram o abastecimento a esta cidade assim como a outras localidades do Concelho.

Estas captações possuem profundidades entre os 31,80m e 37,40m, captando entre os 12,94m e os 33,67m. Os caudais específicos oscilavam, na altura da execução dos furos, entre os 2,2 e 4,4 L/s.m.

A abundância de água fez com que tradicionalmente os particulares implementassem e desenvolvem-se algumas actividades sustentadas nessa água. Assim, existem na zona importantes campos de produção de agrião e outros hortícolas, uma vacaria industrial de considerável dimensão a menos de 100m, Figura 2.VII, das captações e uma outra a, aproximadamente, 500m; uma suinicultura a 50m; zonas de pastoreio e vinhas, em qualquer destes exemplos as

boas práticas não transparecem. Qualquer das situações descritas estão literalmente em cima das captações, que, todavia não reflectem qualquer efeito de contaminação.



Figura 2.VII - Vista geral das Techocas (captações do Concelho de Estremoz): vacaria; “cabeças” do mármore que anunciam, desde logo, a vulnerabilidade do sistema; extenso campo de regadio; junto às habitações que se avistam em primeiro plano há produção industrial de agrião.

Outro bom exemplo são os lixos urbanos, e não só, de Vila Viçosa e Borba, Figura 3.VII. Nesta figura nota-se ainda o habitual conflito existente entre a escombreira, o olival/montado e a vinha. E possível ainda ver depósitos de lamas (natas) do tratamento do mármore.



Figura 3. VII - Esta fotografia mostra, parcialmente (cerca de ¼), do que foi durante mais de duas décadas de anos a lixeira de Borba-Vila Viçosa.

Estes foram, durante anos, depositados, sem qualquer critério ou medida de precaução ambiental, numa lixeira a céu aberto a escassos metros de captações públicas de Vila Viçosa, Figura 4.VII. Apesar desta situação de elevado risco, e contrariamente ao que seria de esperar, a qualidade da água nunca reflectiu qualquer efeito de contaminação.

Só mesmo o contexto geológico-estrutural local pode justificar e sustentar, entre outras, estas duas situações. Isto é, dificilmente, algum conceituado técnico, apenas com o conhecimento geral do aquífero, deixaria de admitir inequivocamente a contaminação da água em qualquer destas destes dois exemplos.

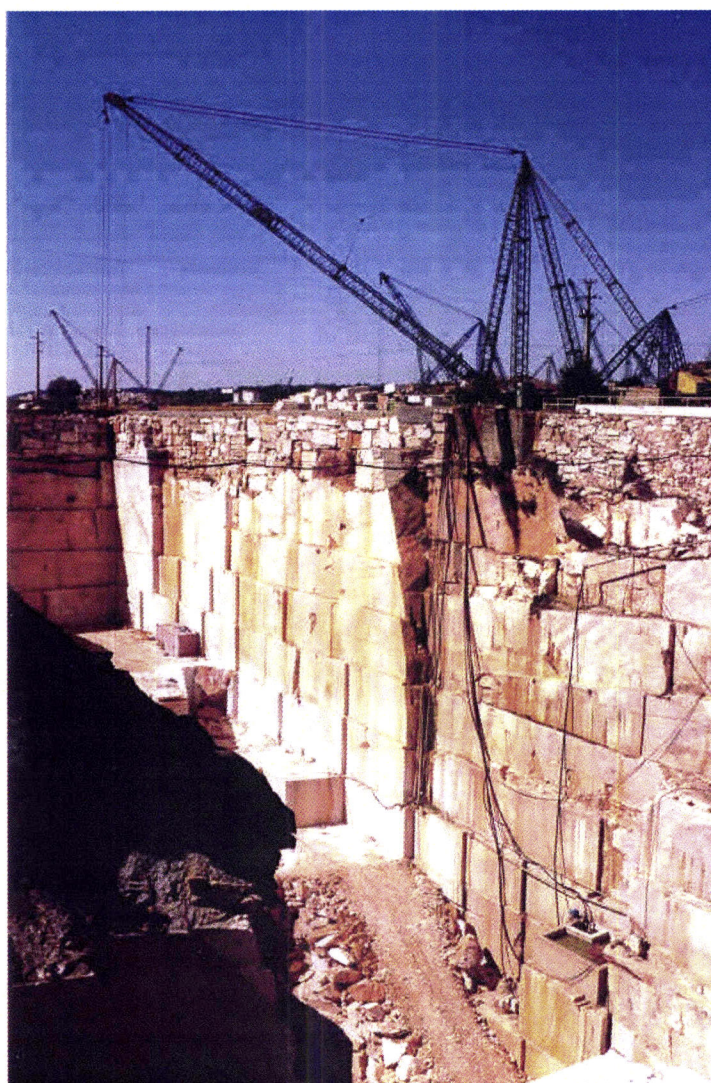


Figura 4.VI I- A pedreira P26 junto à Estrada Nacional Borba – Vila Viçosa é conhecida por ser simultaneamente uma das principais origens de água a Vila Viçosa.

3.1.2 Procedimento de análise da vulnerabilidade no A4 como apoio ao PDA

Os dois exemplos apresentados anteriormente mostram, claramente, que a “vulnerabilidade” no A4 não pode ser, mais uma vez, tratada na generalidade.

Assim, nesta matéria entendemos como seguro, apenas, os seguintes pressupostos:

- i. todos os aquíferos são vulneráveis, o A4 também;
- ii. cada caso vale por si, além das características hidrogeológicas do aquífero e do eventual contaminante, o que predomina são factores complexos de ordem geológica (fracturação, conectividade de fracturas, geometria e sequência dos estratos, etc.);
- iii. um factor geral de vulnerabilidade para um contaminante, ou tipo de aquífero, é um conceito cientificamente errado;
- iv. a vulnerabilidade de um aquífero é directamente proporcional à sua capacidade de recuperação.

Nestas circunstâncias o que se poderá dizer do A4 em matéria de vulnerabilidade e risco de contaminação? Seguramente, se quisermos ser minimamente rigorosos e consistentes, muito pouco para além de qualquer coisa do tipo: **“o A4 é, na generalidade, tendencialmente um aquífero muito vulnerável, cujo grau de risco vai depender do estudo de pormenor de cada caso”**, e, qualquer esboço ou tentativa de gerir planeadamente a água neste aquífero, vai ter que o considerar em cada momento.

A Figura 5.VII traduz, sinteticamente, o que entendemos ser o caminho correcto para nos aproximarmos do cálculo do risco à contaminação de um caso de estudo no A4. O A4, pelas situações em cima descritas, é um caso típico que evidencia a não aplicabilidade simples de índices automáticos ou de generalizações.

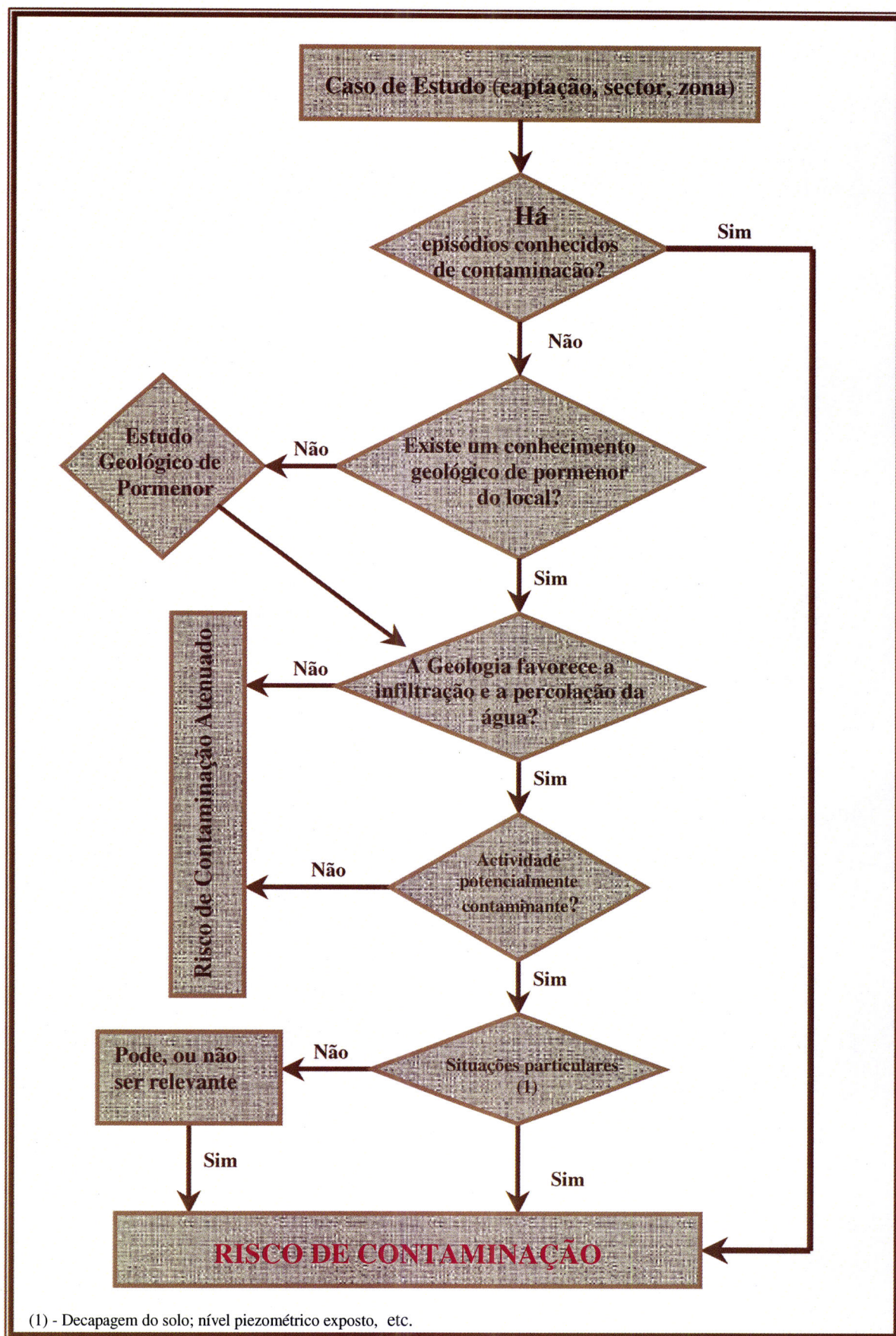


Figura 5.VII - Esquema do procedimento que se considera correcto na análise de risco de contaminação.

Por último não é demais reafirmar que a indústria das Pedras Naturais não é poluente, todavia, designadamente o sub-sector, extractivo, contribui grandemente para o aumento da vulnerabilidade do aquífero:

- i. provoca significativos rebaixamentos no nível piezométrico;
- ii. em áreas significativas decapa o solo e com isso anula o efeito tampão deste;
- iii. expõe a superfície freática, designadamente em pedreiras abandonadas e/ou suspensas;
- iv. derrames acidentais de combustíveis e óleos de equipamentos e viaturas;
- v. compactação do solo;
- vi. espalhamento de lamas.

Além destas situações os impactes induzidos sobre as águas superficiais (descarga de efluentes carregados de sólidos em suspensão e eventual contaminação das águas e solos) provocam alterações na rede de drenagem natural devido a:

- i. obstrução destas com ocupação dos mais variados materiais, do desmonte ou não;
- ii. instalação da infraestrutura mineira;
- iii. instalação de infraestruturas de apoio às pedreiras.

Estes impactes nas águas superficiais fazem-se sentir sobretudo nas fases de exploração e abandono e podem ter repercussões na qualidade da água subterrânea.

3.2 Implementação do PDA-A4

É na implementação do PDA que reside a fase mais crítica. O seu sucesso só será possível se todas as partes estiverem identificadas e responsabilizadas com o Plano. As responsabilidades repartidas parecem-nos essenciais na medida

em que cada parte souber qual a sua participação – direitos e deveres, sempre associados a boas práticas de utilização, rejeição e conservação -, assim será a probabilidade de sucesso de um plano desta natureza..

Daqui decorrem alguns pressupostos fundamentais sem os quais o PDA dificilmente terá sucesso:

- i. estabelecer uma estrutura organizacional gestora apropriada e simples, com enquadramento legal e poder executivo;
- ii. as partes devem conhecer e “subscrever” o Plano de forma muito clara;
- iii. o contacto da unidade de gestão com as partes deve ser permanente;
- iv. a política de incentivos e de penalizações ser conhecida e implementada;
- v. implementar um sistema de avaliação e monitorização permanente que conduza à melhoria continua;
- vi. definir objectivos, discutir e divulgar resultados.

3.2.1 Perímetros de protecção, uma ferramenta de apoio à implementação do PDA – A4

Sem dúvida que os **perímetros de protecção** constituem uma importante ferramenta de gestão da água subterrânea, são, sobretudo, uma ferramenta que trata do uso da água e do território.

Pelas muitas solicitações que a Divisão de Recursos Subterrâneos do INAG tinha em matéria de qualidade de água, tivemos a oportunidade de propor superiormente a necessidade de legislar sobre a aplicação da ferramenta *perímetros de protecção*. Em boa hora esse propósito foi assumido e passámos a concretizar esse desafio seguros de que estávamos a tratar de uma matéria relevante, complexa e ao mesmo tempo delicada, como se veio a mostrar um pouco mais tarde. É oportuno referir que, apesar do intensíssimo trabalho, desde o início até à aprovação do que veio a ser o Decreto Lei decorreu muito pouco

tempo, o que reflecte a importância política e estratégica que, oportunamente, foi dada ao assunto.

A metodologia seguida foi basicamente a seguinte:

- i. recolha exaustiva de referências bibliográficas e outros documentos sobre o tema;
- ii. estudo teórico aprofundado sobre a matéria;
- iii. estudo exaustivo sobre as práticas e procedimentos dos nossos parceiros comunitários e de outros países como os USA;
- iv. estudo sobre as situações hidrogeológicas tipo existentes em Portugal;
- v. selecção da metodologia a seguir;
- vi. experimentação em casos de estudo;
- vii. consulta alargada e reuniões com os melhores especialistas nacionais, recolha de pareceres;
- viii. redacção da proposta de Decreto Lei;
- ix. reuniões com o departamento jurídico do MCOTA;
- x. reuniões na Presidência do Conselho de Ministros com juristas e técnicos de diferentes ministérios (ambiente, agricultura, saúde, administração interna, exército, obras públicas);
- xi. redacção final e envio superior da proposta de Decreto Lei;
- xii. aprovação e publicação do Decreto Lei nº 382 a 22 de Setembro de 1999;
- xiii. apresentação de casos de estudo em reuniões científicas e campanha de divulgação.

Por razões óbvias destaca-se a comunicação apresentada à então 6ª Conferência Nacional sobre a Qualidade do Ambiente em Lisboa com o título *Aplicação dos perímetros de protecção ao Sistema Aquífero Estremoz - Cano (A4)* (Duarte *et al*, 1999) e a edição de uma informação profundamente ilustrada e rigorosa que traduz o DL e que teve uma larga divulgação. O conteúdo dessa informação está hoje disponível na *página web* do INAG.

Assim, compilando a informação recolhida ao longo de vários anos, analisaram-se os dados relativos à qualidade e à hidrodinâmica do sistema aquífero de Estremoz-Cano (A4). Como informação temática de base considerou-se:

- i. a geologia;
- ii. a tectónica;
- iii. a implantação de fontes poluentes;
- iv. as captações para abastecimento público.

Esta informação foi conjuntamente analisada com a variação espaço-temporal da qualidade da água, reflectindo diferentes utilizações do solo.

Sabemos que para garantir a preservação da qualidade da água e para salvaguardar a componente quantitativa dos recursos hídricos subterrâneos, pelo menos nos locais em que a água subterrânea constitui uma reserva para consumo humano, como é o caso dos Concelhos agora estudados, devem definir-se áreas de protecção como um dos procedimentos mais adequados à garantia da qualidade da água.

O objectivo é definir as zonas de protecção imediata, intermédia e alargada. Pode-se ainda implementar zonas de protecção especial, no caso de se tratar de formações carsificadas e muito fracturadas e ainda em aquíferos costeiros. Desta forma, minimiza-se e, em alguns casos, consegue-se mesmo evitar, a contaminação das águas subterrâneas com poluentes degradáveis e/ou dissipáveis e pode avaliar-se o tempo de percurso dos poluentes conservativos, podendo-se interditar a extracção de água em tempo útil salvaguardando-se assim, a saúde dos consumidores.

Apesar da aparente simplicidade subjacente à delimitação de áreas de protecção, existem alguns constrangimentos que parecem dificultar a sua aplicação, como sejam, segundo Duarte *et al*, 1999:

- i. a existência de diferentes métodos (associados, em geral, a modelos de transporte e rastreio de partículas, modelos matemáticos de fluxo, entre outros), necessários para a definição dos perímetros de

protecção que não são, na maioria dos casos, aplicáveis por parte das entidades gestoras dos sistemas de abastecimento;

ii. a constituição geológica, sobretudo em meios cárlicos e bastante fracturados, em que o método do "raio fixo" (distância radial calculada) não garante o sucesso da protecção;

iii. o desconhecimento hidrogeológico de determinadas zonas, nomeadamente ao nível da hidrodinâmica. O conhecimento das direcções de fluxo, da espessura da camada vadosa, da permeabilidade do solo residual e da própria formação geológica e o conhecimento da piezometria local e regional é fundamental para a aplicação cuidada dos perímetros de protecção;

iv. embora o Artigo 9º do DL nº 382, refira que "Os Planos de Bacia Hidrográfica bem como os planos municipais e os planos especiais de ordenamento do território contemplam obrigatoriamente os perímetros de protecção", o que realmente se constata é que, pelo menos no que respeita aos PDM, já se apresentam determinadas restrições, impostas em função dos usos a dar ao solo e às reservas naturais a proteger à data da sua ratificação.

Segundo o DL nº 382 os perímetros de protecção devem ser definidos para as captações destinadas ao abastecimento público que sirvam, pelo menos, 500 habitantes ou cujo caudal de exploração seja superior a 100 m³/dia. Porém, qualquer que seja a situação, são sempre obrigadas a ter Zona de Protecção Imediata, podendo definir-se apenas e só esta zona de protecção sempre que se demonstre, através de estudos hidrogeológicos, que o risco de contaminação é reduzido.

Para o sistema aquífero Estremoz-Cano, foram seleccionados, a título exemplificativo, quatro pontos de água correspondentes a duas origens

diferentes: as duas captações das Romeiras (Sousel) e as duas captações de Fonte do Freixo (Borba).

Considera-se o Sistema Aquífero como de Tipo 4 (Sistema Aquífero cujo suporte litológico é constituído por formações carbonatadas, Anexo do DL), delimitando-se a Zona de Protecção Imediata, com uma circunferência de raio igual a 60m (constante para Sistemas Aquíferos do Tipo 4) com centro na captação. Para as áreas de protecção intermédia e alargada, escolher-se-á o maior valor entre um valor constante e outro, calculado em função do caudal extraído, porosidade eficaz do aquífero e, espessura de água na captação (Anexo do DL).

3.2.1.1 Captações das Romeiras – principal origem de água no Concelho de Sousel

Tratam-se de dois furos, com profundidades aproximadas de 67m, intersectando essencialmente material carbonatado com diferentes graus de fracturação e preenchimento. Estas captações encontram-se junto à estrada que entre Estremoz e Cano, distanciadas entre si em cerca de 70m, Figura 6.VII.

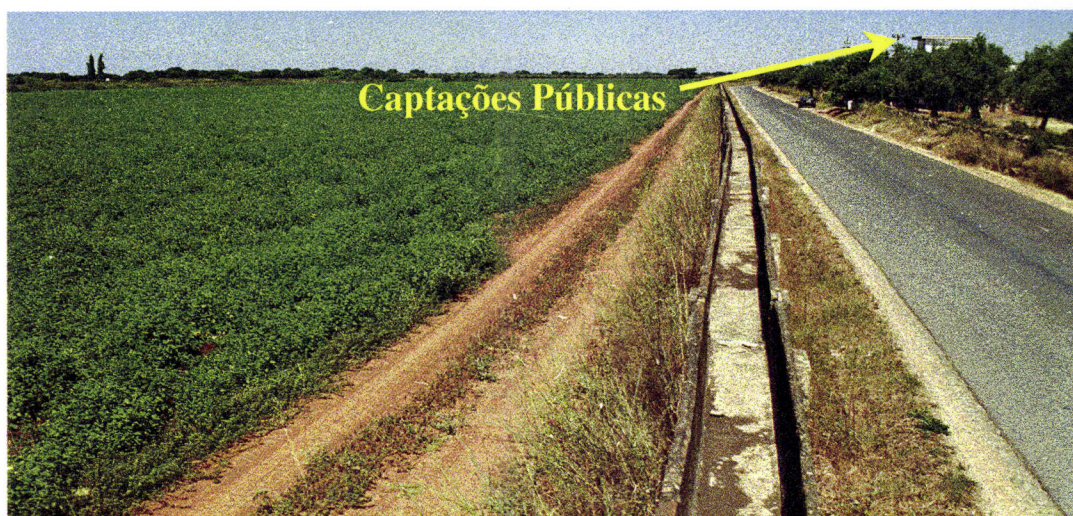


Figura 6.VII - Extensos campos de tomate que anualmente ocupam a zona das Romeiras, separada das captações públicas apenas pela estrada nacional Estremoz – Cano.

São furos bastante produtivos, construídos em 1960 onde, em ensaio realizado na altura da construção, se obteve um caudal específico de 69,4 L/s/m.

Ainda hoje, todo o Concelho de Sousel (aproximadamente 6000 habitantes) é abastecido a partir destas duas captações.

A qualidade química desta água tem sido monitorizada com intervalos mais ou menos regulares desde 1989 e mineralização total oscilou entre os 600 mg/L e os 713 mg/L enquanto que, por exemplo, os nitratos não excedem os 23 mg/L desde Fevereiro de 1990.

O tipo de ocupação do solo na área envolvente contribuirá certamente para parte dessa qualidade química. A estrada, que coincide sensivelmente com o contacto geológico mármore/dolomitos e xistos, tem funcionado como fronteira entre o olival no lado carbonatado e, agricultura mais ou menos intensiva no lado xistento. Esta agricultura que, nos anos 50, se baseava na cultura do arroz, nos anos 70 em milho, girassol e trigo, nos últimos anos tem-se apoiado na produção de tomate.

Em 1998 verificou-se que a escassa dezena de metros, do lado direito da estrada da Figura 6.VII, de uma destas captações um agricultor cultivou tomate. Esta situação preocupou muito a autarquia e o próprio INAG, que efectuaram diligências junto do agricultor no sentido das boas práticas. Para além dessa iniciativa, o INAG apertou a malha temporal de monitorização dos parâmetros de qualidade (sobretudo ao nível da condutividade e do teor em nitratos), não registando contudo, nenhum valor preocupante relativamente aos parâmetros analisados. Tal facto dever-se-á, possivelmente, ao fraco ano hidrológico – com reduzida lixiviação de elementos químicos do solo para a zona saturada - e/ou à espessura de solo residual e argila que preenchem os primeiros 7 metros das captações, funcionando assim como camada tampão.

Estes furos embora com a “cabeça” a cota inferior ao terreno circundante, possuem a mesma devidamente selada e, as construções de alvenaria que as protegem, encontram-se em bom estado de conservação. Na zona de protecção imediata de um dos furos existe uma pequena horta, cultivada pelos funcionários que fazem a manutenção das captações, bem como algum ferro velho abandonado.

Assim recomendou-se, para cada uma das captações, a implantação de apenas uma Zona de Protecção Imediata, uma vez que a qualidade química da água captada não se tem vindo a degradar ao longo do tempo. Este facto poder-se-á justificar uma vez que a potencial fonte poluente (agricultura), embora localizada perto das captações (a cerca de 20m), encontra-se sobre os xistos e, a espessura de terra vegetal e argila dos primeiros metros de solo parece funcionar como camada tampão. Recomendou-se ainda efectuar uma monitorização contínua por forma a detectar eventuais contaminações, bem como a limpeza do ferro-velho existente e da horta contígua a uma das captações. Nesta área é então interdita qualquer instalação ou actividade, com excepção das que têm por finalidade a conservação, manutenção e melhor exploração da captação. Assim, nesta zona o terreno terá que ser devidamente vedado e mantido limpo de quaisquer resíduos, produtos ou líquidos que possam provocar infiltração de substâncias indesejáveis para a qualidade da água na captação.

Neste caso, parece-nos não fazer muito sentido que a ZPI inclua os xistos, Figura 7.VII, uma vez que estes não parecem contribuir para a recarga do sistema aquífero. No entanto, embora o potencial hidráulico das formações carbonatadas seja mais elevado que o dos xistos, as enormes extracções destas duas captações, implicando grandes rebaixamentos do nível piezométrico, provocam fluxo induzido podendo captar água a SW, caso exista conexão hidráulica com fracturas produtivas dos xistos do Silúrico.

A delimitação da Zona de Protecção Intermédia, baseou-se na aplicação do “método do raio fixo”. Considerou-se: caudal (Q) = 5184m³/dia; tempo necessário para um poluente atingir a captação (t) = 50 dias; porosidade eficaz (n) = 0,02 e, espessura saturada na captação (H) = 50m. Da aplicação da equação,

$$r = \sqrt{\frac{Q * t}{3.14 * \eta * H}} \quad (\text{Eq. I})$$

resulta $r = 287\text{m}$ (280m como valor padrão).



Figura 7.VII - Perímetros de protecção para as captações das Romeiras.

A forma da delimitação deixa de ser circular como na Zona de Protecção Imediata, passando a estar condicionada principalmente pelos sentidos de fluxo de água subterrânea, que neste caso se assumem como sendo de SE para NW. A “deformação” do lado dos xistos prende-se com o menor ou nulo contributo das formações para a água captada nos dois furos. Em termos de escorrência superficial, a mesma dá-se de NE para SW (centrífuga relativamente ao maciço calcário).

3.2.1.2 Captações da Fonte do Freixo - a mais importante origem de água do Concelho de Borba.

As duas captações da Fonte do Freixo constituem a principal origem de água à vila de Borba. Considerando o pequeno distanciamento das duas captações da Fonte do Freixo (apenas 4 metros), bem como as mesmas condições

hidrogeológicas a que estão afectas, os perímetros de protecção que se apresentam foram elaborados como se apenas se tratasse de uma captação.

Como dados de base, tem-se:

i. na ocupação do solo sobre a área carbonatada envolvente às captações foram identificadas no terreno algumas habitações que recorrem a fossas sépticas para lançar as águas residuais produzidas, grandes extensões de vinha, pastorícia e, o mais preocupante, uma pedreira abandonada, a servir de lixeira, a cerca de 350 metros das captações, Figura 8.VII;

ii. a componente química da água, no entanto, parece estável (comparando uma análise de Outubro 1997 com outra realizada em Junho 1999). A mineralização total evolui de 586 mg/L para 598 mg/L o que significa um aumento, insignificante, de 2%. As concentrações do ião nitrato, muito influenciadas por variações sazonais, corroboram a ideia de um quimismo bastante homogéneo (20 mg/L em Outubro 1997 e 17 mg/L em Junho 1999);

iii. caudal de extracção, Q : 1200 m³/dia (no Verão) e 660 m³/dia (no Inverno);

iv. espessura saturada na captação, H : 6 m;

v. considerando o caudal extraído no Verão (situação mais desfavorável), uma porosidade eficaz, η , de 1% (Anexo, do Decreto-Lei) e um tempo de percurso do poluente, até atingir a captação, t , de 50 dias e de 3500 dias para, respectivamente, a Zona de Protecção Intermédia e Alargada (Anexo, do Decreto-Lei), resultaram os seguintes "raios":

- Zona de Protecção Intermédia, $r = 560$ m, (280m);
- Zona de Protecção Alargada, $r = 4700$ m, (2400m).



Figura 8.VII - Esta é uma situação muito comum no A4. Só mesmo uma geologia muito particular pode justificar que as captações, a escassos metros não sejam afectadas.

Estes valores por serem superiores ao valores-padrão (valores entre parêntesis), foram os considerados. O raio para a Zona de Protecção Imediata é de 60m (valor constante para aquíferos carbonatados).

Na Figura 9.VII, não estão representados os limites da Zona de Protecção Alargada, por saírem fora da própria Figura. A geometria da Zona de Protecção Intermédia é condicionada pela presença de metavulcanitos, com comportamento impermeável.

Dentro de cada uma das zonas definidas deverão ser implementadas as servidões administrativas e as restrições de utilidade pública, tal como o estipulado no Artigo 6º do Decreto-Lei já mencionado. Assim, e considerando a Alínea 3 do referido artigo, ter-se-á de interditar a continuação de uma pedreira inactiva e transformada em depósito de sucata e, o transporte rodoviário de hidrocarbonetos, materiais radioactivos ou de outras substâncias perigosas pela EN4 assim como pela A6. Julga-se por isso necessário acautelar a drenagem e tratamento prévio do escoamento na zona de atravessamento da A6 no A4.

Como se torna óbvio, basta este último aspecto para perceber a dificuldade que esta útil e importante ferramenta de gestão da água subterrânea, sob a forma de Lei, tem em ser cumprida.

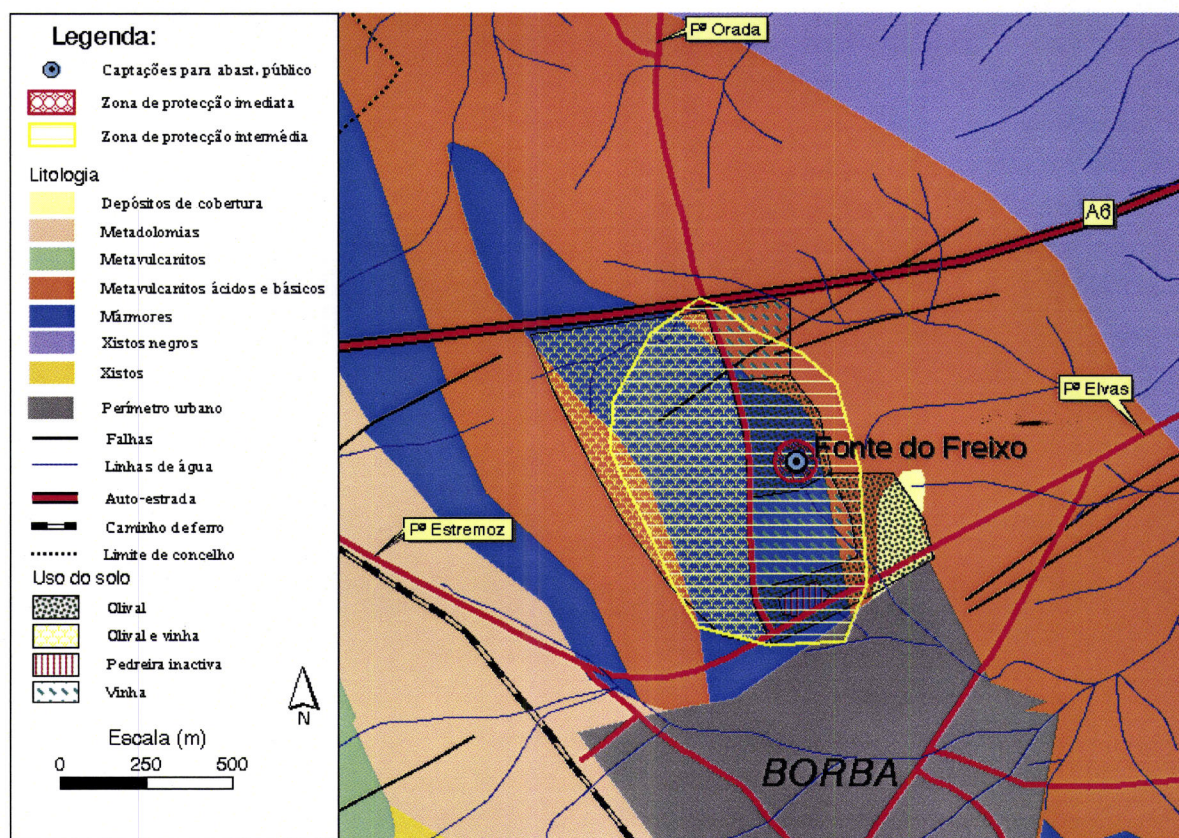


Figura 9.VII - Perímetros de protecção para as captações da Fonte do Freixo.

Seja como for, além do cumprimento da Lei, deverá ter-se presente, no sentido do bom uso dos dinheiros públicos, que economicamente será mais vantajoso conservar as captações existentes do que realizar novas captações. Se, encontrar água neste Sistema Aquífero parece tarefa fácil, já encontrar água em quantidade e com qualidade para consumo humano o não será. A delimitação no terreno de perímetros de protecção não é simples mas, é necessário e imprescindível.

Em meios cárlicos, e sempre que existam dados fiáveis, para a delimitação dos perímetros da Zona Intermédia e Alargada, dever-se-á recorrer à equação referida (Equação I) em detrimento dos valores-padrão sugeridos no Anexo do Decreto-Lei.

3.3 Avaliação e Retroalimentação

Só um permanente controlo e observação poderá conduzir a um Plano que responda aos diferentes tipos de necessidades, já identificadas. A avaliação e melhoria continua são práticas essenciais para responder adequadamente às necessidades e adaptar-se às alterações permanentes do sistema biofísico quando este está sujeito a constantes e crescentes impactes das actividades económicas. Só um PDA-A4 versátil e adaptável poderá responder eficazmente a um meio dinâmico como o ciclo (de utilização) da água, alterando-se constantemente e, não obstante, repetindo-se constantemente.

Provavelmente a monitorização hoje existente, qualidade e piezometria, não será suficiente para apoiar um PDA que se deseja, em tempo real, integral e sustentável. Entre outros será necessário ter medidas, fiáveis, de:

- i. consumos dos diferentes sectores;
- ii. estado de conservação e eficácia da rede de distribuição pública e sistemas de rega;

- iii. na ZM, caudais bombeados e descarregados para fora do A4;
- iv. controlo das fontes de poluição, pontuais e difusas.

4. Princípios e recomendações para o PDA

O objectivo fundamental do Planeamento dos Recursos Hídricos é assegurar a gestão equitativa, eficiente, social, económica e ambientalmente sustentável desses recursos.

No Planeamento e Gestão dos Recursos Hídricos em geral devem estar permanentemente presentes um conjunto de princípios gerais ou fundamentais que orientem e delimitem a formulação de objectivos e as propostas de programas, medidas e acções que se pretendem implementar no domínio dos Recursos Hídricos numa perspectiva estratégica.

Indicam-se de seguida, adaptado do ERHSA (2000), os princípios de gestão e planeamento que pela sua importância devem constituir orientações para o PDA-A4 e, no geral, em todas as regiões onde o potencial hidrogeológico é de tal maneira considerável que assegure o abastecimento.

i. Subsidiariedade – as origens de água subterrânea, como no A4, devem ser consideradas tipicamente como fortes contribuintes para a subsidiariedade.

ii. Racionalidade - A adopção de soluções de abastecimento, superficiais, subterrâneas ou mistas deve assentar no princípio da racionalidade - **máximo de eficiência: melhor solução técnica, económica e ambiental para os mesmos níveis de garantia, fiabilidade e qualidade de serviço.** No A4 as alternativas não são

muitas. Numa região fortemente deprimida como o Alentejo, contrariamente ao que politicamente se afirma, parca em recursos, designadamente hídricos, um recurso disponível como o A4, é impar. As “carências”, normalmente referidas por autarcas devem-se, essencialmente, à ausência de gestão. A hipotética “alternativa” às origens subterrâneas assenta em elevados investimentos com a construção de barragens nos limítrofes do A4 (e.g., o Concelho de Estremoz reivindica duas) e em não menores custos de tratamento e transporte.

iii. Sustentabilidade - A captação de água subterrânea deve ser precedida de um projecto de prospecção em que sejam considerados os eventuais impactes ambientais associados, de modo a não comprometer de forma significativa os sistemas ecológicos dependentes do aquífero. Depois de uma “licença prévia de pesquisa”, o controlo de obras de pesquisa e eventual captação deve conduzir à obrigatoriedade de apresentação de um relatório final onde deve constar, no mínimo:

- a) Localização da obra de captação;
- b) Indicação do número do processo de licenciamento;
- c) Datas de início e conclusão dos trabalhos;
- d) Profundidades, diâmetros e métodos de perfuração utilizados;
- e) Profundidades, diâmetros e natureza dos materiais de revestimento utilizados;
- f) Tipos, posição e material dos tubos ralos;
- g) Profundidades dos níveis estáticos e dinâmico e respectivos caudais;
- h) Profundidade aconselhada para colocação do sistema de extracção;

- i) Posição, granulometria e natureza do maciço filtrante e outros preenchimentos do espaço anular;
- j) Caudal e regime de exploração recomendados;
- l) Análise química da água captada;
- m) Tabela dos valores medidos nos ensaios de caudal;
- n) Observações quanto aos cuidados a tomar nas explorações das captações para se evitar o envelhecimento prematuro da obra;
- o) Desenho apresentando:
 - i) Corte litológico dos terrenos atravessados, indicando as profundidades dos mesmos;
 - ii) Perfuração efectuada, referindo diâmetros e profundidades;
 - iii) Profundidade e diâmetros da tubagem de revestimento;
 - iv) Posição dos tubos ralos;
 - v) Preenchimento do espaço anular (maciço filtrante, isolamentos e cimentações);
 - vi) Outros elementos colhidos durante os trabalhos, tais como diagrfias;
- p) Obrigatoriedade de um termo de responsabilidade, no qual o utilizador compromete a cumprir o projecto de captação aprovado, ou no caso de haver alterações, a justificá-las devidamente.

iv. Protecção de Aquíferos - A protecção dos Recursos Hídricos Subterrâneos deve atender à lentidão com que estes sistemas hídricos geralmente respondem, quer às agressões quer às medidas correctivas e/ou de regeneração, importando considerar a análise de impactes a médio e longo prazo, nomeadamente na própria qualidade da água superficial. Neste sentido deverá ser aplicada a legislação em vigor (Dec. Lei 382/99 de 22 de Setembro) que estabelece a protecção das captações de água subterrânea destinadas ao abastecimento público

de aglomerados populacionais com mais de 500 habitantes ou cujo caudal de exploração seja superior a 100 m³/dia. **A delimitação dos perímetros de protecção deve ser feita mediante a elaboração de estudos hidrogeológicos realizados por técnicos especializados em águas subterrâneas** (alínea 4 do Artigo 3º do Dec. Lei 382/99).

v. **Recuperação do Aquífero** - O facto de haver ocorrências de contaminação deverá implicar a promoção de medidas e acções tendentes à sua recuperação, ou no mínimo, à inversão da tendência de degradação. No caso da intensa utilização agrícola, como é o caso, deverá ser estabelecido um programa de estudos que avalie e modele os **impactes da actividade agrícola** nas componentes intensidade da actividade, sistemas culturais, culturas e dotações na qualidade da água, com destaque para os processos de contaminação por compostos azotados e para a influência do aumento da área de regadio sobre a qualidade das águas subterrâneas. Torna-se urgente a criação de um programa de aplicação efectiva do Código de Boas Práticas Agrícolas que compreenda nomeadamente a elaboração de planos específicos de acção, com os agricultores relacionando as “ajudas comunitárias” com o cumprimento das normas ambientais e o estabelecimento de uma metodologia expedita de verificação do cumprimento dos planos contratualizados.

vi. **Sustentabilidade do aquífero** – a preservação do aquífero é frequentemente ameaçada pela execução incorrecta de captações. Devem ser seleccionadas e divulgadas as **melhores técnicas** disponíveis para a construção, exploração e manutenção das captações e criados **mecanismos de responsabilização** das empresas de execução de sondagens de pesquisa e captações e em particular dos seus técnicos responsáveis pela apresentação dos relatórios das sondagens e captações e a manutenção da sua acreditação como técnicos. Um processo de licença de exploração credível é o mínimo expectável, designadamente que inclua:

- a) A identificação do titular;
- b) A indicação da finalidade de utilização da água;
- c) A localização exacta da captação;
- d) O prazo da licença;
- e) A obrigatoriedade de pagamento, ou isenção, total ou parcial, da taxa de utilização;
- f) A obrigatoriedade do cumprimento das normas de qualidade, segundo o Decreto-Lei N° 236/98;
- g) Os volumes e caudais;
- h) O regime de exploração, com indicação do caudal máximo instantâneo e dos volumes mensais máximos;
- i) A definição dos perímetros de protecção da captação;
- j) As características técnicas dos meios de captação e exploração;
- l) A profundidade máxima do grupo electrobomba submersível;
- m) A obrigatoriedade de instalação de instrumentos adequados para o controlo do nível da água e dos caudais extraídos, quando se julgar necessário pela situação hidrogeológica;
- n) Instalação de instrumentos de medida que permitam saber com a exactidão o débito de exploração, volumes acumulados e níveis piezométricos da captação, desde que os meios de extracção sejam susceptíveis de proporcionar caudais instantâneos iguais ou superiores a 3 l/s.
- o) A obrigatoriedade de fornecer periodicamente à entidade gestora elementos sobre os volumes de água extraídos, os níveis na captação e o período de funcionamento das captações, nos casos mencionados nas alíneas f) e g).

vii. Informação e conhecimento - O estudo e conhecimento do funcionamento e do estado quantitativo e qualitativo dos meios

aquíferos deve ser um objectivo como forma de aferir a correcção da sua gestão e permitir adoptar as medidas adequadas à sua sustentabilidade.

Em qualquer destas matérias a Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Outubro de 2000 “que estabelece um quadro de acção comunitária no domínio da política da água” (Directiva Quadro da Água) é inequívoca e estabelece metas e objectivos bem claros que exigem os procedimentos e postura preconizados no PDA-A4. Entre muitos outros, em particular, o considerando nº 28 diz: “... Em especial, a garantia do bom estado das águas subterrâneas exige uma acção atempada e um planeamento estável, a longo prazo, das medidas de protecção, dado que a sua formação e renovação decorrem, naturalmente, ao longo de grandes períodos de tempo. Esses longos períodos de tempo, necessários para a melhoria das situações, devem ser tomados em consideração na calendarização das medidas destinadas a alcançar um bom estado das águas subterrâneas e a inverter qualquer tendência significativa e sustentada de aumento da concentração de poluentes nas águas subterrâneas.”

Ainda segundo esta importante Directiva, e não menos significativo na justificação e enquadramento do PDA-A4, a alínea b) do Artigo 4º não podia ser mais clara:

“i) Os Estados-membros tomarão as medidas necessárias a fim de evitar ou limitar a descarga de poluentes nas águas subterrâneas e de evitar a deterioração do estado de todas as massas de água... ii) Os Estados-membros protegerão, melhorarão e reconstituirão todas as massas de água subterrâneas, garantirão o equilíbrio entre as captações e as recargas dessas águas, com o objectivo de alcançar um bom estado das águas subterrâneas, 15 anos, o mais tardar, a partir da entrada em vigor da presente directiva... iii) Os Estados-membros aplicarão as medidas necessárias para inverter quaisquer tendências significativas persistentes para o aumento da concentração de poluentes que resulte do impacto da actividade humana, por forma a reduzir gradualmente a poluição das águas

subterrâneas.” Ou ainda o significativo Artigo 17º respeitante a “estratégias para prevenir e controlar a poluição das águas subterrâneas”.

De resto, para que não subsistam dúvidas , a própria Directiva no nº 2 do Anexo II, respeitante a águas subterrâneas, em cerca de três páginas faz um extenso *check list* dos passos a seguir para atingir a referida **utilização óptima da água** de modo a garantir do **bom estado ecológico das águas subterrâneas** - último e mais relevante objectivo da política hídrica europeia a que Portugal, como Estado-membro está obrigado.

5. Bases para a formulação do PDA-A4

A formulação do PDA-A4 deve assentar, no conjunto, numa **Base de Dados**, em permanente actualização, assente num sistema de monitorização validado e experimentado. Como ficou expresso, várias vezes, ao longo da presente Tese, essa rede existe, é operacional e responde satisfatoriamente às necessidades. Entende-se, sem dúvida, que a quantidade e qualidade de dados disponíveis sobre o A4 são suficientes para o PDA-A4. Toda esta informação alfanumérica deve ser cruzada com as bases cartográficas adequadas tendo como suporte um SIG. Naturalmente que o sistema a constituir deverá ser compatível e articulado com outros mais gerais existentes, designadamente com o próprio SNIRH. Assim a Base de Dados, de apoio à decisão, deverá conter:

- i. **informação** sobre os parâmetros que contribuem para a recarga do sistema aquífero (precipitação, escoamento superficial e evapotranspiração, isto é, cálculo da infiltração eficaz). Em matéria de “recarga eficaz” convém esclarecer muito bem alguns conceitos e os seus significados reais. Na gestão sustentável de um aquífero, o que mais importa são as designadas “reservas variáveis”, quer dizer, a água subterrânea que se renova

anualmente. Deve ainda ser controlada e estar disponível a informação sobre todo o sistema de captação e distribuição de água, incluindo a detecção de fugas.

ii. tratamento da informação, o tratamento dos dados é fundamental para que estes possam ser usados, avaliados e interpretados. As metodologias e ferramentas a usar devem ser testadas e validadas. A generalização de ferramentas como o semivariograma ou krigagem, no traçado de mapas piezométricos constitui um bom exemplo.

iii. armazenamento, a informação tem que ser devidamente armazenada possibilitando assim acompanhar a evolução, positiva ou negativa, do sistema aquífero e dependendo das conclusões tomar as devidas medidas;

iv. disponibilização, a informação deve ser disponibilizada e/ou divulgada às partes, em função da sua utilização ou responsabilidade no ciclo da água no A4;

v. gestão corrente, a gestão diária do aquífero deve obedecer ao plano previamente traçado e assentar numa base de coresponsabilização;

vi. planos de contingência, episódios de seca, contaminação ou outro tipo de ocorrências excepcionais devem ser previstas e estarem contempladas em planos de contingência. Sempre que estas situações ocorram devem ser accionados os mecanismos de difusão da informação antecipadamente configurados e previstos.

Entre outros o PDA-A4 deve, desde logo possibilitar:

i. conhecer as necessidades, a base de trabalho de qualquer plano de gestão passa indiscutivelmente por conhecer as necessidades do meio envolvente, a partir das quais se possam adoptar as melhores

soluções. No A4, como se evidencia, o principal problema passa pela má gestão da água, apesar do sistema aquífero ser bastante produtivo e das reservas renováveis (ditas permanentes) serem bastante significativas, registam-se carências, pontuais e localizadas de água – carências essas condicionadas precisamente pela taxa de renovação anual que neste tipo de clima, como se sabe, é bastante variável;

ii. perspectivar cenários de desenvolvimento, não basta somente identificar e satisfazer as necessidades existentes, deve haver iniciativas que prospectem e configurem um desenvolvimento sustentado.

iii. constituir ferramentas de controlo e apoio à decisão, não basta somente identificar e conhecer soluções, tem que haver instrumentos de intervenção que permitam sustentar o controlo e o apoio à decisão.

iv. configurar mecanismos de avaliação, estes, servem para avaliar e/ou modificar todas as decisões tomadas, ou seja, todas as medidas e procedimentos não devem ser estáticas e/ou permanentes, estes devem estar sujeitos a uma constante revisão/avaliação, com o intuito de alcançar mais eficazmente os objectivos pretendidos e assim contribuir para a sustentabilidade local.

v. análise permanente das reservas hídricas disponíveis, todos os elementos estruturais do sistema aquífero, furos, poços, bombas, rede de distribuição, depósitos, tanques, etc. devem ser fiscalizados periodicamente, porque do seu bom funcionamento depende, em parte, a eficácia do PDA-A4. A periodicidade da fiscalização e análise dos parâmetros deve ser ajustada de acordo com uma análise crítica dos resultados que se vão obtendo. Privilegiar o auto-controlo é a melhor opção global.

vi. regulamentar e enquadrar juridicamente – fórum de utilizadores- co – responsabilização, o PDA-A4 deve ter um regulamento claro e devidamente enquadrado na legislação em vigor.

De igual modo deve ser constituído um Fórum de Utilizadores que terá a partilha de responsabilidades como principal objectivo.

E por último, não menos importante, é indispensável calcular economicamente o valor do A4 considerado como um bem ambiental que faz parte de uma função de produção determinada. Como é sabido, desprezando os custos correntes de captação e exploração, o preço da água para qualquer utilizador, agricultor, industrial, Águas do Norte Alentejano, Águas do Alentejo Central, ou outro, é zero, e o acesso ao recurso é livre.

Quanto antes parece-nos incontornável que o custo da água no A4 seja rapidamente calculado e aplicado, considerando tanto os custos presentes como futuros, de tal maneira que a exploração do aquífero tenda para o óptimo.

6. Configuração do Plano Director da Água no A4 – ou a “utilização óptima da água”

6.1 Introdução

Equacionados os grandes temas que importam ao desenho do PDA-A4 e formuladas as interrogações que podem ajudar a conduzir a uma utilização óptima da água, resta agora avançar, o mais possível, no Plano.

À partida, existindo um PNA, PBH, o PROZOM, além dos quase sempre pobres PDM, poder-se-ia supor que a tarefa estaria grandemente facilitada. Se juntarmos a tudo isto o ERHSA, e um sem número de trabalhos académicos, inclusivamente Teses de doutoramento e mestrado, então, era natural que o nosso optimismo subisse ainda alguns degraus. Ao passarmos da expectativas para a realidade, depressa, muito depressa, nos desencantamos. Tudo se pode resumir na formulação de mais uma interrogação: no caminho para a “utilização óptima

da água” no A4, na pratica, em que se traduziu positivamente este acervo de estudos e planos? A resposta é, pouco ou nada.

Chegados a este patamar, pelo qual somos todos responsáveis, em particular, com gravidade, o MCOTA e o Ministério da Agricultura, procuramos aceder a planos de gestão local ou regional da água, similares, sobretudo já com experiência de aplicação, de forma a podermos estudar e seguir alguma referência. Procedeu-se à natural pesquisa nas principais organizações, públicas e privadas, além do contacto, possível, com algumas das principais referências individuais – gestores, professores, investigadores, etc. – nacionais. Surpresa, além de planos de rega, hidroeléctricos, ou quanto muito de abastecimento-distribuição pública de água a partir de barragens, não foi pois possível aceder a um só Plano local ou regional de gestão integral da água. As conclusões que desta realidade se podem tirar são muitas mas demasiado óbvias e evidentes que nos levam a optar por não as listar.

6.2 Plano Director da Água no A4

6.2.1 Informação de Base

Como a própria água consideramos que qualidade do PDA-A4 será tanto maior quanta a sua simplicidade. Os princípios estão enumerados, os utilizadores identificados, o aquífero conhecido.

Considerando a Figura 10.VII, apesar de ela própria também muito simples e esquemática é possível, desde logo, identificar as principais informações hidrogeológicas a considerar:

- principais áreas extracção, designadamente para abastecimento público;
- as principais áreas de recarga;
- saídas naturais – nascentes;
- direcções de fluxo.

À informação da Figura 10.VII devemos associar, designadamente, áreas de rega, fontes de poluição tóxica, infra-estruturas hidráulicas, etc.

Efectivamente a simplificação preconizada para o A4 expressa-se na Figura 10.VII, que todavia reputamos de rigorosa. De facto os aturados e importantes trabalhos de Dias *et al* (1999), já referidos anteriormente, bem como todo o conhecimento hidrogeológico, vêm afirmar o modelo traduzido na Figura 10.VII. A Figura 11.VII sintetiza o modelo estrutural que encaixa e sustenta o representado na Figura 10.VII.

Assim, o PDA-A4 deverá considerar:

- cinco áreas preferenciais de extracção para abastecimento urbano – abastecimento de cerca de 55 mil pessoas: (1) Romeiras (Romeiras); (2 e 3) Techocas e Álamos (Estremoz); (4) Fonte do Freixo (Borba) e (5) Algar das Morenas (Alandroal);
- três áreas fundamentais de recarga: Serra de Sousel (S. Miguel); Planalto de Borba e Zona SW de Vila Viçosa;
- quatro áreas preferenciais de descarga natural: Cano (Rombo); Techocas (Estremoz); bordos do Planalto de Borba; envolvente de Vila Viçosa;
- áreas de intensa utilização agro-pecuária da água todo o aquífero, em particular: Cano; Techocas, Borba e Vila Viçosa;
- zona dos mármore – triângulo, Estremoz-Borba- Vila Viçosa;
- fontes potenciais de contaminação disseminadas por todo o maciço, em particular no Cano (agrícola) e na envolvente dos núcleos populacionais;
- essencialmente duas áreas impermeáveis – núcleo do anticlinal (Xistos de Mares) e mancha de xistos do Silúrico no sector Sul ;
- segundo a Figura 11.VII, quatro sectores ou “bacias drenantes”. Segundo o conhecimento hidrogeológico só se confirmam três, já que a norte de Estremoz tudo se passa com marcada continuidade –

eventualmente justificado pela forte conectividade referida por Dias *et al.* (1999). Neste sector Norte estão incluídos evidentemente os calcários de Cano não representados na Figura 11.VII.

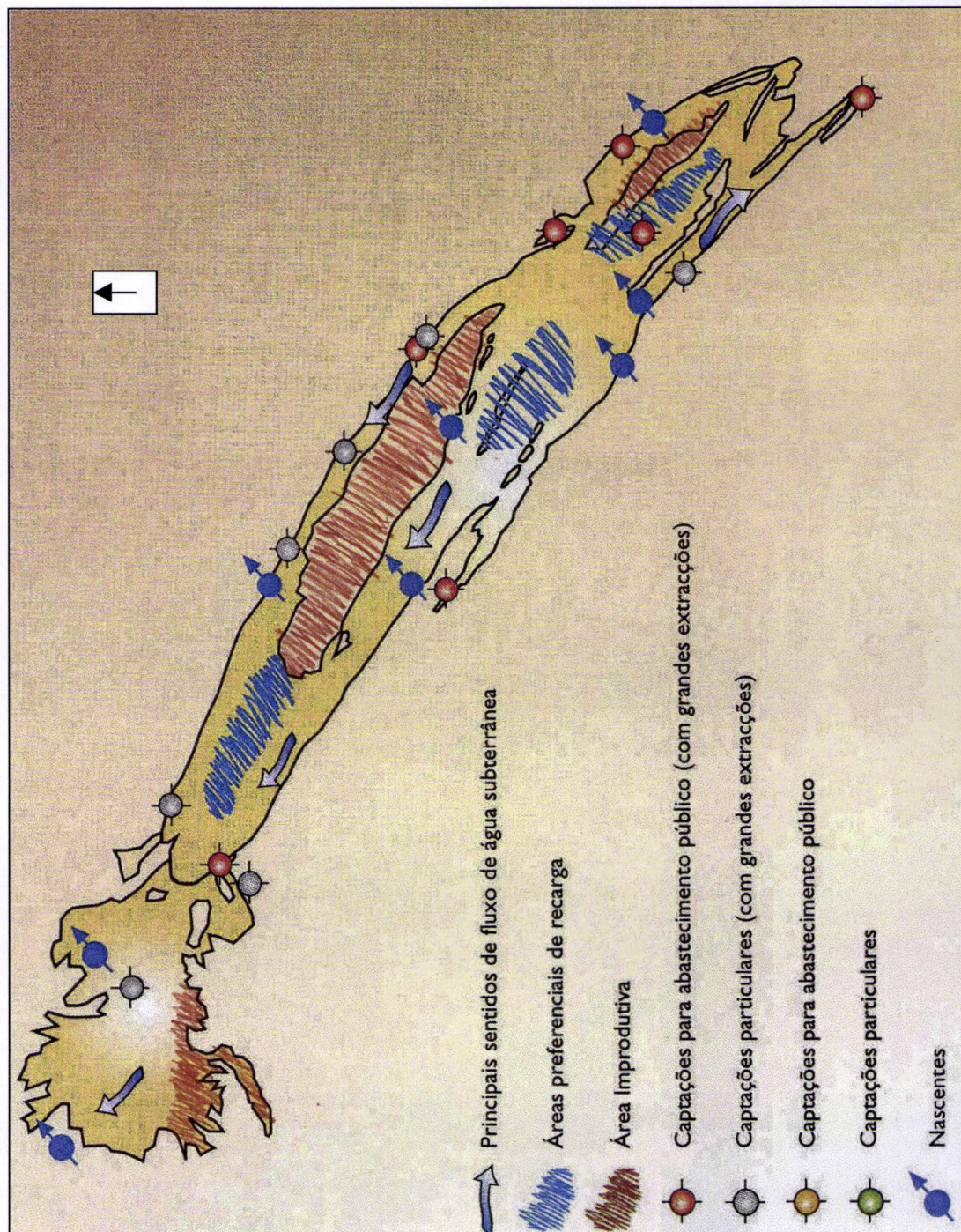


Figura 10. VII - Esquemáticamente este esboço tem a informação fundamental que pode apoiar o PDA-A4 (INAG 1999).

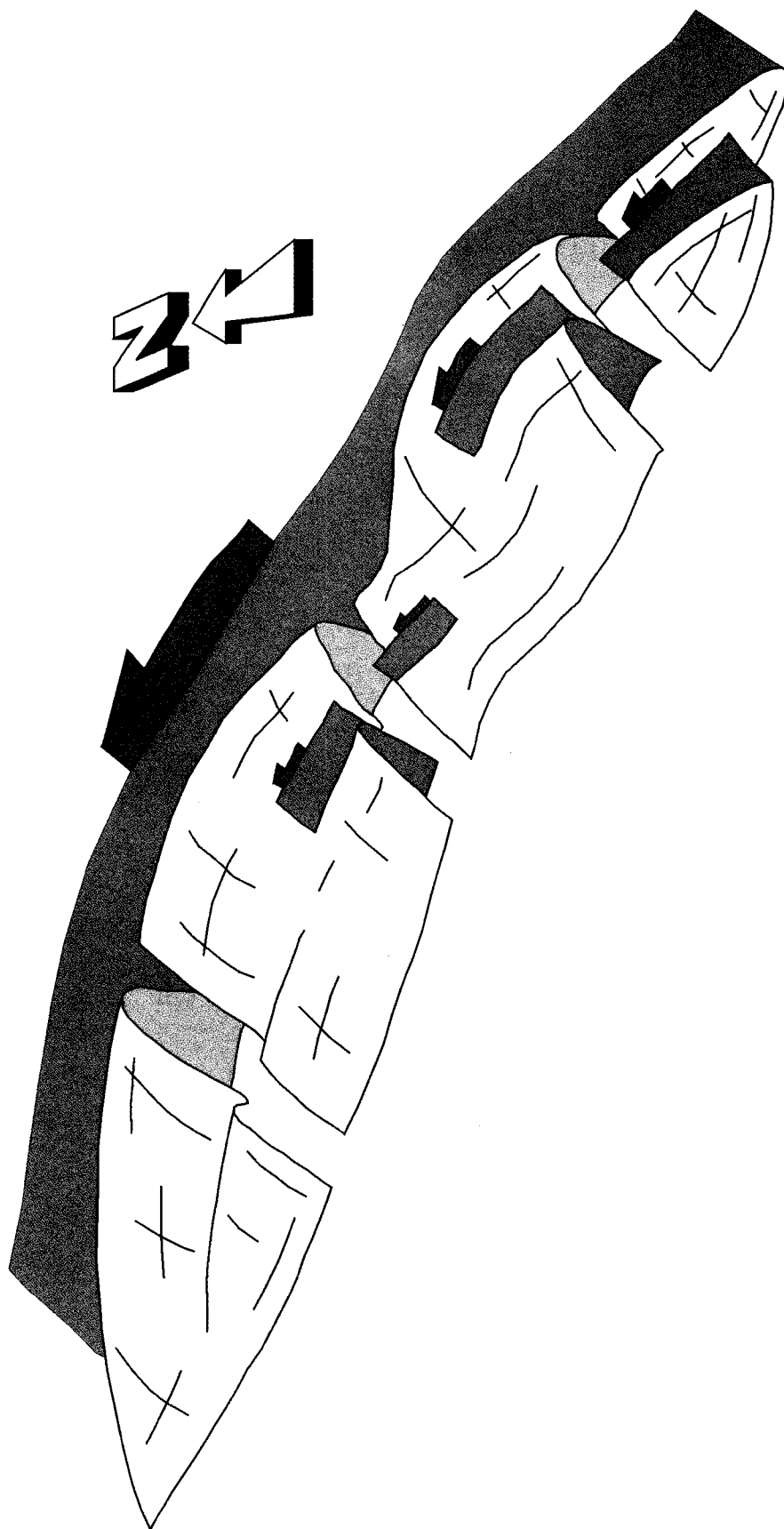


Figura 11.VI - As conclusões com marcado interesse hidrogeológico passíveis de retirar de Dias *et al.* (1999) estão sintetizadas neste esquema. Este modelo estrutural encaixa com as conclusões hidrogeológicas expressas na Figura 1: sectorização do maciço, áreas de recarga, fluxos etc.

6.2.2 A zona dos mármore

No ano de 1996 anunciavam-se os PBH o PNA, e no que respeita ao A4 o ERHSA. O PROZOM dava, finalmente, também passos decisivos na sua concretização como plano de ordenamento fundamental para a ZM. Isto é, estávamos numa fase em que, legitimamente, se poderiam ter algumas esperanças sobre o planeamento da água no A4.

No que respeita ao PROZOM desde cedo, em “A Importância da Água na Gestão do Território na Zona dos Mármore (PROZOM- Alentejo), Cupeto, et al (1994b), e Cupeto, et al (1994c), o tema foi largamente tratado. Nessa matéria, como representante da Universidade de Évora na Comissão de Acompanhamento (Despacho do Concelho de Ministros), tivemos várias vezes a oportunidade de manifestar a importância da água no ordenamento da área. Uma das principais observações, então feitas, escritas (Cupeto *et al*, 1994c) e fundamentadas diz respeito à área de intervenção do PROZOM que faria todo o sentido abranger toda a área da unidade biofísica do território em causa, que é como quem diz, o A4, e não só a Área Cativa.

Adivinhando uma certa inconsequência no A4, objectiva e prática, de todos estes instrumentos de planeamento, como infelizmente se constata, em finais de 1996, aquando da realização do Seminário Internacional “Qualidade Industrial e Ecogestão na Indústria Mineral”, foi apresentada uma comunicação, em jeito de “estudo piloto”, resultante de um trabalho que a Universidade de Évora e Instituto da Água pela nossa participação e a Direcção Regional da Economia do Alentejo através do então estagiário de Engenharia de Recursos Hídricos, Hermínio Serra, e da boa equipa da Direcção de Serviços de Minas levavam a efeito sobre o tema na ZM. Como se compreende, e foi várias vezes explicito nesta Tese, a água na ZM é, antes de mais, necessária e odiada e deve ser abordada, essencialmente, com uma visão hidrogeotécnica. Neste trabalho, pela sua relevância, deu-se particular importância à zona entre Borba e Vila Viçosa, ao longo da Estrada Nacional nº 255.

A Fotografia Aérea¹ que se apresenta constitui uma boa síntese de uma aplicação de demonstração do referido estudo. É possível identificar a Estrada Nacional nº 255 imediatamente por cima da Legenda e segui-la até ao perímetro urbano de Borda. À volta desta via Nacional desenvolve-se uma intensa actividade industrial associada a uma multiplicidade grande de fenómenos e ocorrências de índole hidrogeotécnica. A simples observação da Fotografia, mesmo por alguém que não conheça a realidade do A4 – ZM, evidência a importância da água na gestão do território.

Com destaque ficam também patentes as grandes bases do PDA-A4 na ZM. A complexidade da matéria vai exigir trabalhos de pormenor e transversais como este que se apresenta. Na altura, um dos objectivos dos autores, era trazer o tema para a discussão, exemplificar e demonstrar como o assunto tem de ser tratado quando se pretende planificar considerando a água. Parece que esta tentativa foi, também ela, inconsequente.

¹ Na legenda não há a referência às duas áreas assinaladas a verde que delimitam a zona visitada na excursão de campo que então se realizou.

MAPA DE RISCOS GEOLÓGICOS
PEDREIRAS DE BORBA

LIXEIRA
MUNICIPAL

LEGENDA

- | | |
|-------------------------|---|
| | - Núcleo urbano |
| | - Zona industrial |
| | - Estabelecimento industrial |
| | - Actividade agropecuária |
| | I - Actividade extractiva |
| | - Pedreira (área licenciada) |
| | - Escombreira |
| | - Corta aberta |
| II - Hidrogeologia | |
| | - Escoamento da bombagem de pedreiras e águas pluviais |
| | - Escoamento da bombagem de pedreiras (tubos subterrâneos) |
| | - Escoamento de águas de nascente |
| | - Nascente |
| | - Captação de água |
| | - Captação de água para abastecimento público |
| III - Riscos Geológicos | |
| | - Zona de prováveis inundações |
| | - Dolina |
| | - Risco de contaminação da água |
| | - Provável instabilidade de taludes |

Escala aproximada: 1/5 000

Concepção: Direcção de Serviço de Minas
da DREAL

6.2.3 Principais tarefas do PDA-A4 por sector

Sector Norte

1. Preservar a importante área de recarga da Serra de Sousel.
2. Implementar os perímetros de protecção nas captações das Romeiras.
3. Implementar as boas práticas agrícolas.
4. Calcular o valor económico e o custo ambiental da água para cada utilização.
5. Controlar as fontes de poluição tóxicas – lagares, fossas sépticas, pecuárias.
6. Optimizar o funcionamento das ETAR.
7. Minimizar perdas – rede de distribuição e rega.

Sector Borba – Vila Viçosa

1. Monitorizar a A6.
2. Monitorizar e preservar a área de recarga Planalto de Borba.
3. Implementar os perímetros de protecção nas captações da Fonte do Freixo.
4. Conservar e monitorizar as nascentes de Borba.
5. Garantir a continuidade da Lontra - restaurar e requalificar as linhas de água (dependentes das nascentes).
6. Calcular o valor económico e o custo ambiental da água para o sector das pedras naturais e vitinicultura.
7. Quantificar os usos não consumptivos do sector das pedras naturais.
8. Gestão conjunta e não utilização por pedreira.
9. Quantificar as saídas não naturais do maciço – descargas das pedreiras.
10. Controlo de equipamentos abandonados nas pedreiras (activas e inactivas)
11. Elaborar planos de contingência para as cheias urbanas de Vila Viçosa e Borba.

12. Optimizar o funcionamento das ETAR.
13. Minimizar perdas – rede de distribuição e rega.
14. Prospectar e identificar origens de água alternativas para Vila Viçosa.
15. Estabelecer as práticas da boa utilização da água no sector das pedras naturais.

Sector Alandroal

1. Aprofundar o conhecimento geológico sobre os algarès.
2. Configurar os perímetros de protecção dos algarès.
3. Optimizar o funcionamento das ETAR.
4. Minimizar perdas – rede de distribuição e rega.
5. Calcular recursos disponíveis visando cenários de desenvolvimento, e.g., actividade turística.

Geral

1. Regulamentar e repartir responsabilidades – fim do acesso livre.
2. Constituir e implementar o Fórum de Utilizadores – “propriedade comum” do recurso.
3. Ajustar a procura à disponibilidade.
4. Manter e Melhorar a qualidade.
5. Estudar e implementar utilizações alternativas para os caudais resultantes dos usos não consumptivos.
6. Calcular os diferentes custos da água.
7. Selagem de captações abandonadas.
8. Promover a água como factor determinante no planeamento autárquico local – revisão e elaboração da segunda geração de PDM.
9. Taxar os consumos.
10. Monitorizar e avaliar.
11. Configurar planos de contingência.
12. Melhoria continua.

Uma última palavra sobre esta matéria. O diversificado mosaico (legal, utilizadores, sectorial, autárquico, etc.) do A4 contraria, naturalmente, o que em cima se disse e tudo o que possa contribuir para o “uso óptimo da água”. Enquanto o acesso for livre e gratuito jamais algo poderá mudar para melhor. Todavia, com toda a oportunidade Valsero (1999) pergunta: “e quando, efectivamente, a água finalmente for paga, é seguro que os padrões e os factores que influem na gestão da água, mudarão?”

Esperamos que sim, mas, o mais seguro, é aguardar para ver.

VIII. CONCLUSÕES E IDEIAS FINAIS

Mandam as normas que, antes do fim, se tirem conclusões.

Provavelmente, quase tudo de Conclusão se pode resumir na (esperada?) afirmação: **a utilização da água do A4 é desregulada e insustentável**. Que importa, que, do ponto de vista hidrodinâmico, os calcários do Paleozóico se caracterizem pela grande diversidade de comportamento hidrogeológico? Ou que, pura e simplesmente os PBH do Tejo e Guadiana, de costas voltadas, “cortem” o aquífero ao meio? Para *a água como um bem comum*, não nos abstermos de responder (concluir): **nada**.

O mais grave e preocupante é que o A4 não é um exemplo de excepção.

Como vimos, o A4 é um sistema cársico fracturado que tem associado um sector, a norte, o Cano, com um comportamento bem mais próximo do poroso.

A **sectorização do sistema** é uma das suas características e torna-se particularmente evidente no extremo sudeste do anticlinal, onde, para além da influência marcante da tectónica, também se evidencia a influência da exploração de rocha ornamental. Esta actividade mineira promove, necessariamente, um importante uso não consumptivo e por isso o rebaixamento significativo dos níveis piezométricos.

A observação dos níveis, sobretudo, medidos bimensalmente durante 1997 e 1999 e a análise estrutural permitiram configurar algumas hipóteses de **direcções de fluxo da água subterrânea**, constata-se que o A4 apresenta várias direcções do sentido de fluxo. Na metade SE do anticlinal, entre Estremoz e o Alandroal, os níveis apresentam grandes ressaltos e a direcção de fluxo não tem um sentido único. Na zona a Sul de Borba a variação dos níveis sugere um fluxo mais ou menos radial, isto é, os níveis piezométricos mais elevados estão na região axial do anticlinal, decrescendo em direcção aos flancos. Na terminação periclinal sudeste, em direcção ao Alandroal, o sentido de fluxo faz-se de noroeste para sudeste. Os

níveis piezométricos na metade NW do anticlinal (para NW de Estremoz) indicam que o sentido de fluxo da água subterrânea se processa de sudeste para noroeste, uma vez que é neste sentido que há uma diminuição progressiva das cotas dos níveis. Este comportamento apoia a hipótese sobre a génese dos calcários lacustres de Cano, ou seja de que estes calcários terão sido originados por uma importante descarga, na terminação noroeste do anticlinal, de águas sobressaturadas provenientes das formações carbonatadas paleozóicas (Cupeto, 1991). Nos calcários do Cano o fluxo mantém o mesmo sentido ou seja de SE para NW com existência de importante descarga natural (Vale de Freixo) no contacto entre estes calcários e a formação impermeável envolvente.

No Cano, as charcas, sobretudo no período estival, e os largos períodos inverniais em que o nível piezométrico “inunda” vastas áreas, têm grande importância ecológica, designadamente, para a avi-fauna. A importância ecológica deste “pormenor” é grande e vai muito além do seu significado hidrogeológico. Este alagamento (nível piezométrico acima da superfície topográfica) constitui, durante algumas semanas, um habitat privilegiado para a avi-fauna.

Conforme os trabalhos de Duarte et al. (1997), após a primeira análise dos níveis piezométricos, verificou-se que o sistema é composto por formações com comportamentos hidráulicos muito diferentes, como os calcários lacustres polvulentos de Cano e os calcários cristalinos do Paleozóico. Uma das soluções encontradas para contornar o problema da não estacionaridade da piezometria e assim determinar o semivariograma e estimar os valores desta VR foi considerar uma krigagem por blocos. Apesar do erro de estimação sempre associado a este processo, os resultados obtidos traduzem uma situação muito próxima da realidade.

Muito importante é a definição de **zonas preferenciais de recarga**, os fenómenos de dissolução e o intenso grau de fracturação das formações ocorrentes, fazem com que praticamente todo o maciço seja considerado zona de recarga. No entanto, a região a sudeste de Estremoz – Planalto de Borba,

constituída por dolomitos, parece tratar-se de uma zona preferencial de recarga o que é apoiado pelos níveis piezométricos, que são mais elevados nesta zona. No sector Norte, a Serra de S Miguel tem, sem dúvida, esse papel.

Os muitos **ensaios de bombeamento** realizados no A4 vieram reforçar a ideia da grande heterogeneidade do meio e a ocorrência de sectores distintos controlados estrutural e litologicamente. Exemplo disto é a existência de níveis aquíferos suspensos originados pelas intercalações de metavulcanitos nas formações carbonatadas paleozóicas. Os valores de transmissividade obtidos variam entre os 2 e os 3700 m²/dia e os de coeficiente de armazenamento entre 10⁻² e 10⁻³.

Do ponto de vista hidroquímico, de acordo com o contexto litológico regional, as águas subterrâneas são duras apresentando uma fácies **bicarbonatada cálcica a calco-magnesiana**. A estabilidade química da água é uma realidade, conforme indicam as análises químicas realizadas fundamentalmente desde há 15 anos. Os principais catiões analisados foram o Ca²⁺, Na⁺, Mg²⁺, K⁺ e os aniões HCO₃⁻, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻. De uma maneira geral os teores determinados encontram-se dentro dos valores máximos admitidos para consumo humano impostos pela lei (Decreto-Lei n° 236/98 de 1 de Agosto) com excepção do ião nitrato cuja percentagem de amostras com teor de nitratos superior a 50 mg/l (VMA) já é considerável. Além disto verifica-se que esse enriquecimento em nitratos se verifica em todo o sistema. Os casos mais preocupantes e persistentes são nas regiões de, Casa Branca (113 mg/l), Romeiras (120 mg/l), Sta. Vitória do Ameixial (85 mg/l), Cardeais (113 mg/l), Arcos (92 mg/l), Álamo (80 mg/l) e Barro Branco (75 mg/l). Os metais pesados analisados (Cu, Cr, Fe, Ni, Mn, Zn, Al) apresentaram teores dentro dos valores máximos admitidos para consumo humano, impostos pela lei referido, com excepção do ferro que apresentou situações que ultrapassaram o VMA.

O **índice de saturação** determinado relativamente à calcite e à dolomite, demonstra que 90% das amostras se encontravam sobresaturadas em relação à calcite e 82 % das amostras encontravam-se sobresaturadas em relação à dolomite.

No que se refere à **qualidade da água para uso agrícola**, neste sistema não se detectou qualquer problema de alcalinização, já o mesmo não acontecendo com a

salinização que apresenta perigo médio a alto. As classes encontradas são do tipo C₂-S₁ (40 pontos em águas altas e 35 em águas baixas) e C₃-S₁ (37 pontos em águas altas e 41 em águas baixas).

O conceito de **vulnerabilidade** é, normalmente, mal interpretado e decorre da utilização não sustentada do aquífero. Sobre a vulnerabilidade à contaminação podemos concluir que o A4 é bastante vulnerável. Como se demonstrou, cada caso só é possível de determinar com um estudo de pormenor. Contrariamente à aplicação de índices de vulnerabilidade, mais ou menos automáticos, preconizamos os **estudos de pormenor e a configuração de perímetros** de protecção como uma ferramenta de *boa gestão* do aquífero.

Já no que respeita ao habitual **balanço hidrológico** as contas parecem mostrar consumos abaixo das disponibilidades. Todavia, embora o conceito de **sobreexploração** tenha associada uma difícil interpretação e uma ainda mais complicada aplicação assente num vazio legislativo, estamos em crer que, considerando as “reservas permanentes” – como aquelas de carácter interanual, às vezes, muito difíceis de aceder – e as “reservas variáveis” – as disponíveis anualmente –, quase sempre a utilização do A4 andarà próximo do regime de sobreexploração. Podemos chamar a esta situação uma **sobreexploração real** em oposição ao termo e conceito vago e discutível habitualmente associados à designação “sobreexploração”.

E se o A4 demonstra, com facilidade, a negativa realidade referida também é possível encontrar exemplos de boas práticas. Os tais bons exemplos que tanto nos caracterizam, pena é que não os sigamos num propósito de generalização. De facto, seja no Alandroal onde a água de abastecimento público é essencialmente captada num algar, seja em Cano onde as charcas ou a galeria a céu aberto da Herdade de D. Pedro, existem inúmeros exemplos no A4 que demonstram um perfeito conhecimento do sistema e uma perfeita adaptação da captação de água a este.

Além desta “base hidrogeológica” quis-se ir mais além: usou-se a **ACV** e tentou configurar-se um **PDA**. Qualquer destes objectivos ficou seguramente aquém das nossas expectativas iniciais.

A fundamentação da ACV aplicada à água no A4, vem, desde logo, demonstrar a oportunidade e interesse em usar esta ferramenta como uma metodologia avançada que contempla a água não só como recurso (matéria prima) mas também como produto e resíduo. Como se adivinha falta muita da informação que possibilite uma ACV-A4 detalhada e completa. Todavia, como se pressente, facilmente se chega à conclusão que o **uso da água no A4 é marcadamente insustentável**. A continuar assim, admite-se, numa próxima série de anos secos, a ocorrência de alguns problemas na satisfação das necessidades básicas de abastecimento.

No que respeita ao **PDA-A4** as conclusões são basicamente semelhantes. Na crítica ZM a gestão do sistema hídrico só será possível quando houver uma prática que não seja individual, por cava-pedreira, como até aqui, mas sim sectorial ("bacia drenante") onde a água, como outros factores, sejam tratados sistemicamente. Estes "sectores" são zonas do anticlinal com algum tipo de unicidade, normalmente ajustada a razões naturais. A variação do regime de escoamento numa frente de extracção, não pode ser generalizada, depende, não só, das condições hidrogeológicas regionais mas também de cada caso, à escala da pedreira. É este último aspecto que impede generalizações e procedimentos comuns.

No A4 há uma total ausência da gestão da água, nem tão pouco devemos considerar falhas de gestão, esta, pura e simplesmente, de todo, não existe. Contudo uma importante conclusão se pode tirar: a situação é bem mais grave do que inicialmente se poderia supor. E pior, tudo faz crer que a tendência seja a de esta situação se agravar e que quem (?) de direito tarde a (re)agir.

E depois destas vulgares e habituais conclusões, que importa mais dizer?

Estamos em crer que mais brevemente do que se supõe possível poderão ocorrer algumas rupturas - abastecimento público, qualidade da água, acidente, água industrial, etc. - que evidenciarão esta realidade.

Poder-se-á dizer que nada do que nestas páginas se escreveu sobre esta matéria é novo. Em nossa opinião, como demonstra o uso da água no A4, trata-se

de um cenário de insustentabilidade bem mais grave do que se poderia supor. Contrariamente ao que se diz, sobre o PNA e PBH, não cremos estar numa primeira geração de planeamento de recursos hídricos, no A4 não há planeamento e no actual quadro de competências e usuários este não é possível

A continuar assim admite-se numa próxima série de anos secos ocorram alguns problemas na satisfação das necessidades básicas de abastecimento. Quando isto acontecer, provavelmente como é hábito vai-se apelar, mais uma vez, à construção de mais algumas barragens e **jamais se irá responsabilizar a vergonhosa ausência de gestão do Sistema.**

A água como factor de gestão e desenvolvimento do território constitui o tema em Tese. Sem dúvida. Não era arriscado de admitir que a água, para o bem e mal, condiciona o desenvolvimento, ignore-se ou assuma-se essa realidade. Pela sua transcendência social, económica e ambiental é incontornável que a “administração hidráulica” assuma um papel mais activo no uso e gestão do A4 como parte integral de uma política hidráulica racional e sustentável. Neste modelo a co-responsabilização de todos os sectores sociais e económicos interessados assume uma relevância sem paralelo. Todavia, como em qualquer outra matéria, uma nova realidade no uso e gestão da água subterrânea e os desafios que lhes estão associados, só é possível se a sociedade civil perceber que o tema lhe toca.

Provavelmente, porque vão surgir cada vez mais problemas com a água e, em especial, com o sector subterrâneo do ciclo hidrológico? Ainda que em largas áreas do nosso país a água possa não ser um bem “fisicamente escasso” a sua escassez é marcadamente “social”, pelo menos está socialmente condicionada. A resposta a esta “escassez social” deve vir, por isso, de frentes igualmente “sociais” que compreendam “fisicamente” bem o funcionamento do recurso e as funções económicas e ambientais, que estes devem, irremediavelmente, cumprir.

E, no fim de tudo, **além do bem comum(?), ainda ficará por saber qual é o verdadeiro significado da água?**

Toda a nossa sociedade repousa e depende das nossas águas, terras, florestas e minerais. O modo pelo qual utilizamos esses recursos influencia a nossa saúde, segurança, economia e bem estar.

John F. Kennedy, 1961

BIBLIOGRAFIA

- Abalos, B. 1990. *Cinematica y mecanismos de la deformacion en regimen de transpresion. Evolucion estructural y metamorfica de la zona de cizalla dúctil de Badajoz - Cordoba*. Thesis Doct. Univ. Pais Vasco, 430 pp.
- Almeida, C. 1979. *Programas para calculadoras de bolso com aplicação em hidrogeologia*. Boletim do Museu e Laboratório de Mineralogia da FCUL. Vol. XVI (I). Lisboa. pp. 102-122.
- Almeida, C.; Mendonça, J. J. L.; Jesus, M. R.; Gomes, A. J. 2000. *"Sistemas Aquíferos de Portugal Continental"*. Centro de Geologia e Instituto da Água. Lisboa. 661 pp.
- Apalategui, O.; Eguiluz, L. e Quesada, C. 1990. *The struture of the Ossa-Morena Zone*. R. D. Dallmeyer e E. Martinez Garcia (Eds.), in *Pré – Mesozoic Geology of Iberia*, Springer – Verlag, Berlim, pp. 280-291.
- Ball, P. 2002. *Uma Biografia da Água*. Ed. Temas e Debates. Lisboa. 383 pp.
- Bard, J. P. 1971. *Sur la alternance de zone metamorphiques e granitiques dans le segment hercynien sud- ibérique: comparason de la variabilité des caractères geotectoniques de ces zones avec les orogenes. "Orthotectoniques"*. Bol. Geol. y Minero, t. LXXXII - III - IV, pp. 108 - 128.
- Benitez, A. 1972. *Captacion de aguas subterráneas*. Ed. Dossat, 2ª Edição. Madrid. 618 pp.
- Bernardo, J. M. e. Alves, M. H. 1999. *New perspectives for ecological flow determination in semi-arid regions*. Regulated Rivers: Research & Management.
- Brumbaugh, R.; Werik, W.; Tettz, W. e Lund, J. 1994. *Lessons learned from the California Drought (1987-1992) Executive Summmary*, IWR Report 94 – NDS-6. U.S. Army Corps of Engineers.

- Cardoso, J. 1965. *Solos de Portugal, sua classificação, caracterização e génese. I – A Sul do Rio Tejo*. Secretaria de Estado da Agricultura – Direcção Geral dos Serviços Agrícolas. Lisboa. 311 pp.
- Carvalho, S.; Midões, C.; Duarte, P.; Orlando, M.; Pais Quina, A.; Simões Duarte, R.; Cupeto, C.; Costa Almeida, C.; Silva, M. O. 1998. *Sistemas aquíferos de Estremoz-Cano e de Elvas-Vila Boim. Estudo dos recursos hídricos subterrâneos*. IV Congresso da Água. Lisboa. pp 187-188.
- Carvalhosa, A. B.; Gonçalves, F. e Oliveira, V. 1987. *Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000. Notícia explicativa da folha 36-D do Redondo*. Lisboa, Serviços Geológicos de Portugal.
- Castany, G. 1975. *Prospección y explotación de las aguas subterráneas*. Ed. Omega, Barcelona. 738 pp.
- Chacón, J.; Oliveira, V.; Ribeiro, J. 1983. *La estructura de la Zona de Ossa-Morena*. Livro Jubilar J. M. Rios, Instituto Geol. Min. de España, Madrid, tomo I.
- Chambel, A.; Krásný, J. 2003. *Determinação da Transmissividade em Aquíferos com base no caudal de captações definido a partir de ensaios com ar comprimido*. Universidade do Algarve. Faro. 10 pp.
- Coutagne, A. 1954. Quelques considérations sur le pouvoir évaporant de l'atmosphère, le déficit d'écoulement effectif et le déficit d'écoulement maximum. *La Houille Blanche*. pp. 360-369.
- Costa, A. 1985. *Características Hidrogeológicas dos Principais Afloramentos de Formações Carbonatadas do Substrato Hercínico no Alentejo*. Congresso sobre o Alentejo. Semeando novos Rumos, vol. II. Évora. pp. 657-665.
- Costa, C. M. 1992. *As pedreiras do Anticlinal de Estremoz*. Dissertação apresentada à Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de Doutor em Geologia de Engenharia. Lisboa.

- Costa, Cláudia M. 1997. *Relação Água-Indústria na Zona dos Mármore – Concelho de Vila Viçosa*. Trabalho de Fim de Curso da Lic. em Eng^a de Recursos Hídricos da Universidade de Évora. Évora. 99 pp.
- Costa, J.C., Aguiar, C., Capelo, J., Lousã, M. 1997. *Aproximação à biogeografia de Portugal Continental*. Quercetea 1. 58 pp.
- Crespo, E. G., 1989. *Atlas da Distribuição dos Anfíbios e Répteis de Portugal Continental*. SNPRCN (Ed.) Lisboa.
- Cupeto, C. A. 1991. *Contribuição para o conhecimento hidrogeológico do maciço de Estremoz (Cano – Sousel)*. Dissertação apresentada à Universidade de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Geologia Económica e Aplicada. Lisboa. 180 pp.
- Cupeto, C. A.; Oliveira, M.; Silva, V. 1990. *Recursos Hídricos Subterrâneos do Alentejo*. Encontro Técnico APRH, Portalegre.
- Cupeto, C. A.; Oliveira, M. 1990. “Hidrogeologia da região de Cano-Sousel”. *Revista GEOLIS*, Lisboa. pp 3.
- Cupeto, C. A.; Oliveira, M. 1991. “A Qualidade da Água Subterrânea. Sector NW do Anticlinal de Estremoz e Calcários de Cano. Um caso de Estudo”. *Revista da APRH*, LNEC, Lisboa. pp 2.
- Cupeto, C. A.; Oliveira, M. 1992. *Impacte entre recursos Naturais: Indústria dos Mármore em Estremoz, Borba, Vila Viçosa, Alandroal e Sousel Versus Água*. III Congresso Geológico de Espanha. Salamanca.
- Cupeto, C. A. 1993. *A Actividade Extractiva em Pedreiras Carbonatadas a céu Aberto e a Água - O Caso do Anticlinal de Estremoz*. IV Conferência da Qualidade do Ambiente, Lisboa.
- Cupeto, C. A.; Oliveira, M. 1993. *O Perfil das Águas Subterrâneas no Conhecimento Hidrogeológico do Sector Norte do Anticlinal de Estremoz e Calcários de Cano*. XII Reunião de Geologia do Oeste Peninsular.

- Cupeto, C. A. 1994. "Estudo, Recuperação e Conservação dos Arranjos de Nascente do Concelho de Borba I". *Revista Ambiente Magazine*, nº4, Lisboa. 5 pp.
- Cupeto, C. A. 1994. "Pedreiras de Estremoz e Água, um Conflito Possível de Minimizar." *Revista Tecno-ambiente*, nº 1, Lisboa. 4 pp.
- Cupeto, C. A. 1994a. "A Água e Actividade Mineira." *Revista A Pedra*, nº 53, Lisboa. pp. 1-6.
- Cupeto, C. A.; Duran, V.J.; Lopez Geta J. A.; Fernandez-Rubio, R. 1994b. *A Importância da Água na Gestão do Território na Zona dos Mármore (PROZOM- Alentejo)*. II Curso Internacional Água e Ambiente – Universidade de Évora/Universidade da Extremadura. Borba. 9 pp.
- Cupeto, C. A.; Duran, V.J.; Lopez Geta J. A.; Fernandez-Rubio, R. 1994c. "A Importância da Água no Plano Regional de Ordenamento do Território da Zona dos Mármore (PROZOM- Alentejo)." *Revista A Pedra*, nº54. Lisboa. 10 pp.
- Cupeto, C. A. 1995. "Ecogestão e Auditoria Ambiental no Sector das Pedras Naturais". *Revista A Pedra*, nº 55/56. Lisboa, 4 pp.
- Cupeto, C. A.; Duran Valsero, J. J.; Lopez Geta, J. A.; Fernandez-Rubio, R. 1995a. *Gestão Ambiental de Explorações de Mármore e Aproveitamentos Hidrogeológicos (Alentejo, Portugal/Extremadura, España)*. 1º Congresso Internaional da Pedra, Junho, FIL, Lisboa. pp 15-18.
- Cupeto, C. A.; Duran Valsero, J. J.; Lopez Geta, J. A.; Fernandez-Rubio, R. 1995b. *A Actividade Extractiva de Pedras Naturais e a Água, Meio Ambiente e Ordenamento do Território*. 1º Congresso Internaional da Pedra, 15-18 Junho, FIL, Lisboa.
- Cupeto, C. A.; Ruben Martins; Martins, C. 1995c. *Industria das Pedras Naturais (Mármore de Estremoz) – Riscos, Segurança e Ambiente*. Sete relatórios de progresso do Projecto financiado pela Fundación Mapfre – Bolsa de Ajuda à Investigação 1994. Lisboa.

- Cupeto, C. A.; Monteiro, J.P.; Pinto-Gomes, C.; Molero, C.; Vasquez, F. M.; Moreno, V.; Carmen Bueno, M.; Gonçalves, T.; Teles Grilo, J.; Avelar Santos, V.; Feio C.; Martins R.; Sousa, R.; Paços, F.; Ramalho, R.; Pinheiro, I.; Burzaco, A.; Pérez-Sáenz, A; Moreira, T.; Costa, C. 1995d. *Para a eco-recuperação de pedreiras. Um esquema integrado envolvendo a Extremadura Espanhola e o Alentejo*. Revista "Rochas & Equipamentos" nº 37. Lisboa. 4 pp.
- Cupeto, C. A.; Lopes, A. R. 1997. *Importância das Redes de Monitorização de Águas Subterrâneas, O caso Português*. 3º Simpósio de Hidrologia e Recursos Hídricos de Países de língua oficial Portuguesa, 15-17 Abril, Maputo. 10 pp..
- Cupeto, C. A.; Serra, H. 1997. *Água Subterrânea associada aos meios Geológicos. O Caso da Zona dos Mármore Estremoz, Portugal*. 3º Simpósio de Hidrologia e Recursos Hídricos de Países de língua oficial Portuguesa, 15-17 Abril, Maputo. 10 pp.
- Cupeto, C. A.; Jesus, R.; Lopes, A. R.; Orlando, M. 1999. *Perímetros de Protecção de Captações Públicas de Águas Subterrâneas*. IV SILUSBA. Coimbra.
- Cupeto, C. A. 2001. *Água no Século XXI - A Água é só uma: recurso; meio receptor e ecossistema*. Semana Total Energy – Lisboa. 15 pp.
- Cupeto, C. A. 2002. *Vantagem Estratégica de Impacte Ambiental*. Semanário Económico. Novembro. Lisboa. 1 pp.
- Cupeto, C. A. 2003a. Auditoria Ambiental, uma outra fronteira da auditoria. Suplemento especial do Semanário Económico. Março. Lisboa. 3 pp.
- Cupeto, C. A. 2003b. *A água é só uma, superficial ou subterrânea, doce ou salgada: o recurso; o meio receptor e o ecossistema*. Anais da Universidade de Évora. N°s 10 e 11. Universidade de Évora. Évora. pp. 157-174.

- Custódio E. e Llamas, M. R. 1983. *Hidrologia Subterranea*. Ed. Omega, Barcelona, Tomos I e II.. 2350 pp.
- Dias, R; Madureira, P.M. 1999. *Caracterização da Fracturação nas Formações Carbonatadas do Anticlinal de Estremoz: sua influência na circulação de água*. Laboratório de Investigação de Rochas Industriais e Ornamentais. Universidade de Évora. Estremoz.32 pp.
- Duarte, P.; Antunes, C.; Orlando, M.; Cupeto, C. A.; Almeida, C.; Silva, M. O. 1997. *GPS como ferramenta auxiliar na construção de cartas piezométricas. Calcários lacustres de Cano - um exemplo prático*. Seminário sobre Águas Subterrâneas, 10 a 12 de Dezembro, APRH/LNEC, Lisboa.
- Duarte, P.; Carvalho, S.; Orlando, M.; Jesus, R.; Cupeto, C. A. 1999. *Aplicação dos perímetros de protecção ao Sistema Aquífero Estremoz - Cano (A4)*. 6ª Conferência Nacional sobre a Qualidade do Ambiente. Lisboa. Vol. 2. pp 559-571.
- Feio, M. e Martins, A. 1993. *O relevo do Alto Alentejo (traços essenciais)*. Finisterra, XXVIII, 55-56, pp. 149-199.
- Fetter, C.W. 1994. *Applied Hydrogeology*. 3ª Ed. Macmillan College Publishing Company. New York. 691 pp.
- Florido, P. e Quesada, C., (1984) - *Estado actual de conocimientos sobre el Macizo de Aracena*. Quad. Lab. Geol. Laxe, 8: pp. 257 - 277.
- Figueiredo, Mª J. 1998. *Aplicação da Fotogeologia na Delimitação de Zonas de Risco Hidrogeotécnico – Caso de Estudo: Borba e Vila Viçosa*. Trabalho de Fim de Curso da Lic. em Eng.ª de Recursos Hídricos da Universidade de Évora. Évora. 75 pp.
- Ford, D. e Willliams, P. 1989. *Karst geomorphology and hydrogeology*. Ed. Unwnin Hyman, London. 601 pp.
- Fullana, P. e Puig, R. 1997. *Análisis del ciclo de vida*. 1ª Ed. Rubes Editorial, S.L. Barcelona. 143 pp.

- Gonçalves, F. 1971. *Subsídios para o conhecimento geológico do Nordeste Alentejano*. Mem. Serv. Geol. Portugal. Nova Série, 16. 62 pp.
- Gonçalves, F. 1972. *Observações sobre o anticlinório de Estremoz, alguns aspectos geológico-económicos dos mármore*s. Est. Not. Trabalhos, Serv. Fom. Mineiro, XXII (1/2), pp. 121-132.
- Gonçalves, F. e Coelho, A. P. 1974. *Notícia explicativa da folha 36-B, Estremoz*. Serviços Geológicos de Portugal.
- Gonçalves, F. e Palácios, T. 1984. *Novos elementos paleontológicos e estratigráficos sobre o Proterozóico português, na Zona de Ossa Morena*. Mem. Acad. Ciênc. Lisboa, XXV : pp. 225 - 235.
- Gonçalves, F. e Oliveira, V. 1986. *Alguns aspectos do Precâmbrico da Zona de Ossa Morena em Portugal. O Proterozóico superior de Estremoz*. Mem. Acad. Ciênc. Lisboa, XXVII: pp. 111-117.
- Gonçalves, M. Z. e Mata Reis, R. M. 1987. *O Clima em Portugal: caracterização climática da região agrícola Alentejo*. Fasc. XXXIV, INMG. Lisboa. 266 pp.
- Guidicini G. 1993. *Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação*. São Paulo, Brasil.
- Hartmann, T. 2002. *As últimas horas da antiga luz do sol*. Edições Sinais de Fogo. Cascais. 423 pp.
- Head, K. H. 1994. *Manual of Soil Laboratory Testing. Vol.2: Permeability, Shear Strength and Compressibility Tests*. (2nd edition), J. Wiley & Sons, New York, 440 pp.
- Hernández-Mora, N.; Llamas, M. R. 2001. *La economía del agua subterráneas y su gestión colectiva*. Fundación Marcelino Botín. Edições Mundi-Prensa. Madrid. 550 pp.
- IGME, Ed. 1987. *Riesgos Geológicos*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.

- ITGE, Ed. 1989. *Manual de Restauration de Terrenos y Evaluacion de Impactos Ambientales en Minería*. Instituto Tecnológico y Geomineiro de España. Madrid. 321 pp.
- Jacob, C.E. 1940. *On the flow of water in an elastic artesian aquifer*. Am. Geophy. Union Trans., Vol 72, part II, pp574-586.
- Jesus, R.; Orlando, M.; Carvalho, S.; Duarte, P.; Cupeto, C. A. 1999. *Perímetros de protecção de captações de água subterrânea destinadas ao abastecimento público*. 6ª Conferência Nacional sobre a Qualidade do Ambiente. Lisboa. Vol 2. pp 799-808.
- Julivert, M., Fontboté, J. M., Ribeiro, A., Conde, L. N. 1974. *Mapa tectónico de la Peninsula Ibérica y Baleares*, Escala 1 : 1.000 000 Serv. Publ. Minis. Int. 113 pp.
- Justino, M.F. 1996. *Proposta de Plano de Pormenor de Valorização e Reabilitação Ambiental da Área a Sudeste de Estremoz – Zona de Extracção de Mármore*s. Trabalho de Fim de Curso da Lic. Eng.ª Biofísica da Universidade de Évora. Évora. 172. pp.
- Justino, M.F.; Cupeto, C. A. 1996. *Ordenamento e Gestão ambiental da Zona de Transição entre o Espaço Urbano de Estremoz e a Indústria de Pedras Naturais - Área Sudeste de Estremoz*. V Conf.ª Nacional sobre a Qualidade do Ambiente, 10-12 Abril. Universidade de Aveiro. pp. Llamas, M. R.; Fornés, J. M.; Hernández-Mora, N.; Cortina, L. M. 2001. *Aguas subterráneas retos y oportunidades*. Fundación Marcelino Botín. Edições Mundi-Prensa. Madrid. 529 pp.
- Lopes, A. R.; Macedo, M. E.; Orlando, M.; Cupeto C. 1998. *Monitorização da Qualidade da Água Subterrânea em Situações Especiais*. 4º Congresso da Água. Lisboa, Portugal. 23-27 de Março.
- Lopes, A. R.; Ribeiro, L.; Rodrigues, F.; Cupeto, C. 1999. *Critérios e Metodologias para a Optimização das Redes de Monitorização*

Piezométrica dos sistemas Aquíferos de Portugal. IV SILUSBA. Coimbra. Portugal.

Lopes, A. R.; Rodrigues, F.; Cupeto, C.; Rodrigues, R. 2000. *Critérios Expeditos para Implementação de Redes de Monitorização de Águas Subterrâneas. I Congresso sobre Aproveitamento e Gestão de Recursos Hídricos em Países de Idioma Português. Rio de Janeiro. Brasil.*

Lopes, J. L. 1995. *Caracterização geológico-estrutural do flanco sudoeste do anticlinal de Estremoz e suas implicações económicas.* Dissertação apresentada à Universidade de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Geologia Dinâmica Interna. Lisboa.

Lopez Geta , J. A., 1997. *Situación actual y perspectivas futuras del aprovechamiento de las aguas subterráneas en el abastecimiento urbano.* Revista Tecno-Ambiente nº 74. Madrid. pp. 69-71.

Lotze, F. 1945. *Zur gliederung der Varisciden der Iberischen Meseta. Geotech. Forsch., 6: pp. 78 - 92.*

Lledo, L. C.; Gurgui i Ferrer, A. (Comissão Editorial). 1988. *Águas Subterrâneas -Instrumentacion, medida y toma de muestras.* Prensa XXI, S.A.

Martins, C.; Figueira, M. J.; Piteira, B.; Duque, V.; Cupeto, C. A. 1995. *Ecogestão no Sector das Pedras Naturais.* Confª Qualidade e Gestão Ambiental. Associação Portuguesa de Qualidade. 16-17 Outubro. Lisboa. pp. 10.

Martins, C.; Figueira, M. J.; Piteira, B.; Duque, V.; Cupeto, C. A. 1995. "Ecogestão e Auditoria ambiental no Sector das Pedras Naturais". *Revista A Pedra*, nº58, Lisboa. pp. 19-23.

Martins Carvalho, J. 1990. *Gestão qualitativa e quantitativa das águas subterrâneas.* Recursos hídricos no contexto alentejano. APRH. Portalegre. 13 pp.

- Martins, R.; Cupeto, C. A.; Monteiro, J.P.; Duarte, I.; Pinho, A.; Carrilho, J.M.; Gonçalves, F. 1994. "A Nata como Subproduto da Indústria do Mármore." *Revista Indústria & Ambiente*. nº 2. Porto. pp 12-21.
- Martins, R.; Barroso, M.; Monteiro, J.P.; Cupeto, C. A.; Gomes, C.; Gonçalves, F. 1995. "Natas de Corte, Serragem e Polimento de Mármore – Estudos de Caracterização e aplicabilidade." *Revista A Pedra*. nº 57, Lisboa. pp. 74-83.
- Martins, R.; Barroso, M.; Monteiro, J.P.; Cupeto, C. A. 1995. *A Aplicabilidade das Natas como Forma de Diminuição dos Impactes Ambientais Causados pela Indústria dos Mármore*. 1º Seminário Luso-Brasileiro de Geotécnia Ambiental. IST. Lisboa. pp. 219-228.
- Martins, R.; Barroso, M.; Cupeto, C. A.; Monteiro, J.P.; Gonçalves, F. 1995. "Os Mármore Compactos e a Cerâmica como Possível Solução para a Redução de Resíduos da Indústria Extractiva e Transformadora." *Revista Indústria e Ambiente*. nº6. Dezembro. Porto. pp. 8-15.
- Martins, R. 1996. *Aplicações Industriais de Natas Resultantes da Indústria Transformadora de Rochas Carbonatadas*. Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para obtenção do grau de Mestre. Aveiro. pp. 80.
- Midões, C.; Duarte, P.; Antunes, C.; Orlando, M.; Carvalho, S.; Cupeto, C. A.; Almeida, C.; Silva, M. O. 1997. *Contribuição para o Conhecimento Hidrogeológico do Sistema Aquífero Estremoz-Cano*. Seminário sobre Águas Subterrâneas, 10 a 12 de Dezembro, APRH/LNEC, Lisboa.
- Morais, M.; Pinto, P.; Saúde, A. C.; Caeiro, J.; Pinto, V. 2003. *Qualidade ecológica de águas interiores superficiais*. Anais da Universidade de Évora nos 10 e 11. Universidade de Évora. Évora. pp. 55-102.
- Navarro, A.; Fernández-Uría, A.; Doblas, J. G. D. 1989. *Las Aguas Subterráneas en España - Estudios de Síntesis*. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid. 591 pp.
- Oliveira, M. 1997. Aplicação informática para estimar a recarga de águas subterrâneas a partir da análise de hidrogramas de escoamento

- (DECHIDR.BAS). Comunicação apresentada no Seminário sobre Águas Subterrâneas, 10 a 12 de Dezembro, APRH/LNEC, Lisboa.
- Oliveira, J. T.; Oliveira, V. M.; Piçarra, J. M. 1991. *Traços gerais da evolução tectono-estratigráfica da Zona de Ossa Morena em Portugal*. Cuadernos Lab. Xeológico de Laxe Coruña. Vol. 16.
- Oñate, J. J. 2002. *Evaluación al estratégica-La evaluación ambiental de Políticas, Planos y Programas*, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Paradela, E. e Zbyszewski. 1971. *Hidrogeologia Geral do Centro e Sul de Portugal*. Direcção de Minas e Serviços Geológicos. Lisboa.
- Pereira, M.F. 1999. *Caracterização da estrutura dos domínios setentrionais da Zona de Ossa-Morena e seu limite com a Zona Centro-Ibérica no Nordeste Alentejano*. Tese de Doutoramento, Universidade de Évora. 115 pp.
- Piçarra d'Almeida, J. M. 2000. *Estudo Estratigráfico do Sector Estremoz-Barrancos, Zona de Ossa Morena, Portugal*. Tese Doutoral, Universidade de Évora, Vol. I. pp. 95.
- Pinheiro, A. C.; Saraiva, J. P. 2003. *Sustentabilidade da agricultura de regadio no Alentejo face à Directiva Quadro da Água: uma aplicação com programação multi-objectivo*. Anais da Universidade de Évora. Nºs 10 e 11. Universidade de Évora. Évora. 103-156 pp.
- Rebelo, M. C.; Cupeto, C. A, 1995. *Nascentes (Surgências Naturais) - Estudo de Valorização e Recuperação no Conselho de Borba*. I Reunión Nacional de la Comisión de Patrimonio Geológico. Sociedade Geológica de España. 2 a 4 de Novembro. Madrid.
- Ribeiro, A., Antunes, M. T., Ferreira, M. P., Rocha, R. B., Soares, A. F., Zbyszewsky, G., Moitinho de Almeida, F., Carvalho, D. & Monteiro, J. H. 1979. *Introduction à la géologie générale du Portugal*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa. 114 pp.

- Rivas-Martínez, S. 1987. *Memoria del mapa de series de vegetación de España*. Icona, Serie Técnica. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. pp.12-26.
- Robardet, M. 1976. *La originalité du ségment hercynien sud-ibérique au Paléozoïque inférieur: Ordovicien, Silurien et Dévonien dans le Nord de la Province de Seville. (Espagne)*. C. R. Acad., Sci. Paris, D. 283: pp. 999 – 1002.
- Rodrigues, R.; Lopes, A. R.; Brandão, C. 2002. *Os aspectos concernentes à água no planeamento civil de emergência*. INAG. Lisboa. 12 pp.
- Ribeiro, L.; Lopes, A. R.; Rodrigues, F.; Cupeto, C.A. 1999. "Contribuição da Análise de Tendências para a Optimização das Redes de Monitorização Piezométrica dos Sistemas Aquíferos de Portugal - Uma Aplicação ao Subsistema Quaternário de Aveiro". *Revista da Associação Portuguesa de Recursos Hídricos*, vol.20, nº1.
- Clements, R. 1995. *Complete Guide to ISO 14 000*. Prentice-Hall.
- Rijo, M. 2003. *Os modernos sistemas de transporte e distribuição de água para rega em canal*. Anais da Universidade de Évora. Nº 10 e 11. Universidade de Évora. Évora. pp. 15-53.
- Rufino, R. 1988. *Atlas das Aves que nidificam em Portugal Continental*. Secretaria de Estado do Ambiente e dos Recursos Naturais. Lisboa. 215 pp.
- Santos, F. L. 2003. *Melhor gestão dos recursos solo e água com a adopção de modernas tecnologias de rega*. Anais da Universidade de Évora. Nº 10 e 11. Universidade de Évora. Évora. pp. 175-208.
- Santos Oliveira, J. F. 2003. *Gestão Ambiental*. Inédito (para publicação). Lisboa. 223 pp.
- Serra, H.; Cupeto, C. A. 1996. *A hidrogeologia e os riscos geológicos na área cativa dos mármore*s. Seminário Qualidade Industrial e Ecogestão na Indústria Mineral. Direcção Regional de Economia do Alentejo / Instituto da Água / Universidade de Évora. Évora. 18 pp.

- Serra, H. 1997. *Introdução à Hidrogeologia e Riscos Geológicos – Estudo Piloto em Zonas de Pedreiras de Mármore*. Trabalho de Fim de Curso da Lic. em Eng.^a de Recursos Hídricos da Universidade de Évora. Évora, Vol. I, 137 p. e Anexos A e B.
- Serra, H.; Cupeto, C. A. 1997. “Riscos Geológicos associados à água na área cativa da zona dos mármore.” *Revista A Pedra*, nº66, Out/Dez. Lisboa. pp. 93-101.
- Serralheiro, R. P. 2003. *A sustentabilidade do regadio e a conservação do solo e da água em condições mediterrâneas*. Anais da Universidade de Évora. Nº 10 e 11. Universidade de Évora. Évora. pp. 209-248.
- Valsero, Juan José Durán. 1995. *Agua Subterraneas – Algunas reflexiones sobre los aspectos económicos de las mismas*. II Curso sobre Economía del Medio Ambiente y los Recursos Naturales. Universidad de Alcalá de Henares. 46 pp.
- Theis, C.V. 1935. *The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground-water storage*: American Geophysical Union Transcript no.16. pp. 519-524.
- Thornthwaite, C.W. 1948. An approach toward a national classification of climate, *Geograph. Review*, v.38(1). pp 55-94.
- Turc, L. 1955. Le bilan d'eau des sols: relation entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement. *Ann. Agron.*1954, pp 491-495; 1955, pp 5-131.

OUTROS DOCUMENTOS

- Carta Europeia da Água*. 1968. Proclamada pelo Conselho da Europa, em Estrasburgo, no dia 6 de Maio.
- DECRETO LEI nº 382 de 22 de Setembro de 1999 “que estabelece perímetros de protecção para águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público.”

DECRETO LEI n.º 236 de 1 de Agosto de 1998 que “estabelece normas, critérios e objectivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade da água em função dos seus próprios usos.”

DECRETO LEI n.º 46 de 22 de Fevereiro de 1994 que “estabelece o regime de licenciamento da utilização do domínio hídrico.”

DECRETO LEI n.º 270 de 6 de Outubro de 2001 que “estabelece o regime jurídico da pesquisa e exploração de pedreiras.”

DIRECTIVA 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Outubro de 2000 “que estabelece um quadro de acção comunitária no domínio da política da água” (Directiva Quadro da Água).

INAG. 2001.a). *Plano Nacional da Água. Parte I - Enquadramento e contextualização. Volume II - Caracterização e diagnóstico da situação dos recursos hídricos*. Capítulo 4: Usos, consumos e necessidades de água. Versão de trabalho. Abril de 2001.

INAG. 2001.b). *Plano Nacional da Água. Parte I - Enquadramento e contextualização. Volume II Caracterização e diagnóstico da situação dos recursos hídricos*. Capítulo 6: Balanço hídrico. Versão de trabalho. Junho de 2001.

INAG. 2001.c). *Plano Nacional da Água. Introdução, caracterização e diagnóstico da situação dos recursos hídricos. Versão para consulta pública*. Agosto de 2001.

ISO – Série 14 000.

MAOT-INAG. 2001. *Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água*. pp. 210.

ONU. 1997. *Comprehensive assessment of the freshwater resources of the world. United Nations Department for Policy Coordination and Sustainable Development (DPCSD)*. Commission on Sustainable Development.

PROZOM. 2000. Plano Regional de Ordenamento do Território da Zona dos Mármores, várias Fases, Relatórios e Volumes de 1997 a 2000.

PÁGINAS DA INTERNET

Homepage da Naturlink. 2000. <http://www.naturlink.pt>

Homepage do Instituto do Ambiente. 2002. <http://www.iambiente.pt>

Homepage 2000 Alentejo Digital. <http://www.alentejodigital.pt>

Homepage da Câmara Municipal de Estremoz. Maio de 2003. <http://www.cm-estremoz.pt>

Homepage do Instituto Geológico e Mineiro. Dezembro de 2002. <http://www.igm.pt>

Homepage do Congresso da Água de 2002. 2002. <http://www.aprh.pt/congressoagua2002>

Homepage da NetIndex. 2002. <http://www.netindex.pt>

Homepage da Yahoo!GeoCities. 2003. <http://www.geocities.com>

Homepage da região centro. 2003. <http://www.regiaocentro.net>

Homepage do Sapo. 2003. <http://comunidades.sapo.pt>

Homepage do INAG/SNIRH. <http://inag.pt>

CARTAS

Albuquerque, 1982, Carta Ecológica de Portugal Continental, Escala 1:100 000. Lisboa.

Serviços Cartográficos do Exército à escala 1/25 000, folhas nº 396, 397, 410, 411, 412, 425, 426, 440 e 441.

Carta Geológica de Portugal à escala 1/50 000, folhas do Redondo, Estremoz e Sousel.

Serviço de Reconhecimento e de Ordenamento Agrário (SEROA) 1966, *Carta de Solos de Portugal*, Escala 1:50000.

AGRADECIMENTOS

Passada em revista a lista, provisória e incompleta, de nomes de pessoas a quem reconhecidamente devo o meu Agradecimento, contam-se algumas dezenas. Além das Instituições o vasto grupo enquadra-se, necessariamente, no universo dos inestimáveis amigos, dedicada e carinhosa família, e nos bons colegas.

Todos eles, mas todos, os próprios, sabem que, mais do que expressar o seu nome neste papel, ele está vincado no meu coração. Por aqui me fico.

À Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa estou muito reconhecido, lá dei os primeiros passos e até hoje esta nobre Casa sempre esteve ao meu lado. O Professor Manuel Oliveira da Silva foi, e é, um Professor, um Mestre; o meu Orientador. É um Amigo. Que mais posso dizer? Como lhe posso agradecer?

Foi pela Faculdade de Ciências que tive o privilégio de conhecer o Professor Rafael Fernandez Rubio. Ele sabe a referência científica e emocional que representa para mim. Vem a todo o propósito referir aqui, também, a Universidade Politécnica de Madrid e o incontornável Instituto Tecnológico e Geomineiro de Espanha bem como os quantos amigos que lá tenho.

À Universidade de Évora, ao “Honesto Estudo com Longa Experiência Misturado”, deixo o meu mais profundo reconhecimento. Nesta Universidade sempre tive o apoio e o estímulo de colegas e superiores. Na medida das minhas possibilidades aqui quero continuar a fazer o meu melhor. Compreendem, certamente, que abra mais uma exceção e expresse mais um nome: o Professor e Amigo Francisco Gonçalves, para ele fica um grande reconhecimento.

O Instituto da Água é uma fase muito importante na minha carreira profissional e pessoal. O Manuel Lacerda sabe o que lhe agradeço a oportunidade que me deu e o que lá aprendi. Os quantos amigos que lá tenho também muito estimo. Expresso, por último, o nome do Engº Pedro da Cunha Serra; ter tido o

privilégio de trabalhar com este Senhor é qualquer coisa que não vou esquecer. Aprendi muito e marcou-me.

Antes de terminar deixem-me escrever três nomes: a João, o Luis e a Angelina. Eles sabem.

Por fim, a quem comigo passou, com muita compreensão, as mais amargas horas deste percurso, a Cristina, minha ex-mulher.

Bem hajam!

Abreviaturas

A4 – Aquífero do Maciço Antigo (A) com o número de inventário 4 (Estremoz-Cano)

AAE - Avaliação Ambiental Estratégica

ACV – Análise do Ciclo de Vida

CEVALOR – Centro Tecnológico para o Aproveitamento e Valorização das Rochas Ornamentais e Industriais

CVSCE – Complexo Vulcano-Sedimentar Carbonatado de Estremoz

DL – Decreto Lei

DRAOT-Alentejo – Direcção Regional do Ambiente e Ordenamento do Território do Alentejo

EPI – Equipamento de protecção individual.

ERHSA – Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Alentejo

FCUL – Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

IGM – Instituto Geológico e Mineiro

IGME – Instituto Geológico y Minero de España

INAG – Instituto da Água

ISO – International Standard Organization

ITGE – Instituto Tecnológico y Geomineiro de España

NHD – Nível Hidrodinâmico

PBH – Plano de Bacia Hidrográfica

PDA-A4 – Plano Director da Água do Sistema Aquífero Estremoz – Cano (A4)

PNA – Plano Nacional da Água

PNUEA - Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água

SGP – Serviços Geológicos de Portugal

UE – União Europeia

UEv – Universidade de Évora

ZM – Zona dos Mármore

Definições ACV

A Norma 14 040, como qualquer outra, dá-nos, um conjunto de definições que ajudam a compreender, desde logo, os propósitos, procedimentos e funções da Norma, neste caso do ACV.

- a) **Afectação** – Imputação ao sistema de produtos em estudo, dos fluxos de entrada e de saída de materiais e/ou energia de um dado processo elementar ou operação unitária;
- b) **Afirmação comparativa** – Reconhecimento da superioridade, ou da equivalência ambiental de um dado produto, serviço ou processo, em relação a um produto concorrente, que desempenhe a mesma função;
- c) **Ciclo de Vida** – Conjunto de fases ou operações, consecutivas e interligadas de um dado sistema produtor, de aquisição de matérias primas ou de geração de recursos naturais, destinados à eliminação final;
- d) **Análise de Ciclo de Vida (ACV)** – Compilação e avaliação de fluxos de entrada e de saída, assim como de potenciais impactes ambientais verificados num sistema, ao longo do respectivo ciclo de vida;
- e) **Avaliação do Impacte de um determinado Ciclo de Vida** – Fase da análise do ciclo de vida destinada a compreender e avaliar a amplitude e a importância dos potenciais impactes ambientais do sistema em análise;
- f) **Interpretação de um Ciclo de Vida** – Fase da análise do Ciclo de Vida, no decurso da qual os resultados da análise do inventário ou da avaliação do impacte ou de ambos, são combinados em coerência com o objectivo e com o campo definidos para o estudo, a fim de deles poder extrair as conclusões e as recomendações a apresentar às partes interessadas;
- g) **Análise do inventário do Ciclo de Vida** – Fase da análise do Ciclo de Vida, durante a qual se procede à compilação e à quantificação dos fluxos de entrada e de saída, de materiais e/ou energia, de um dado sistema de produtos, serviços ou processos, integrados num dado Ciclo de Vida;
- h) **Realizador** – Indivíduo ou grupo que realizam uma determinada ACV.

Matriz de Correlação

Juromenha											
Juromenha	1.0000	Vila Viçosa									
Vila Viçosa	0.8092	1.0000	Fronteira								
Fronteira	0.8676	0.7826	1.0000	B. Maranhão							
B. Maranhão	0.8488	0.7629	0.9449	1.0000	Redondo						
Redondo	0.9099	0.7919	0.9100	0.9019	1.0000	Alandroal					
Alandroal	0.8342	0.7244	0.8187	0.8541	0.8838	1.0000	Vimieiro				
Vimieiro	0.8482	0.7307	0.9183	0.9481	0.8942	0.8553	1.0000	Estremoz			
Estremoz	0.8940	0.7263	0.8402	0.8463	0.8880	0.8407	0.8401	1.0000	Sousel		
Sousel	0.9156	0.7526	0.9476	0.9307	0.9351	0.8306	0.9154	0.8710	1.0000	Pavia	
Pavia	0.7380	0.7113	0.9008	0.9423	0.8478	0.7628	0.9174	0.7427	0.8692	1.0000	

Elenco Florístico - principais espécies

Família	Espécie	Nome vulgar	Biologia	Estatuto	Directiva Habitats
<i>Araceae</i>	<i>Arisarum vulgare</i>	Capuz fradinho	Herbácea/vivaz	Frequente	-
	<i>Arum italicum</i>	Jarro	Herbácea	Frequente	-
<i>Aristolochiaceae</i>	<i>Aristolochia baetica</i>	Erva cavalinha	Lenhosa	Frequente	-
<i>Amaryllidaceae</i>	<i>Narcissus bulbocodium</i>	Campainhas do monte	Vivaz/herbácea	Frequente	X
<i>Apocynaceae</i>	<i>Nerium oleander</i>	Loendro	Perene	Frequente	-
	<i>Vinca difformis</i>	Erva da inveja	Perene	Frequente	-
<i>Anacardiaceae</i>	<i>Pistacia lentiscus</i>	Lentisco	Herbácea/vivaz	Não rara	-
<i>Compositae</i>	<i>Calendula arvensis</i>	Erva vaqueira	Anual	Muito Frequente	-
	<i>Chamaemelum fuscatum</i>	Malmequer	Anual	Frequente	-
	<i>Dittrichia viscosa</i>	-	Herbácea/Anual	Quase todo o País	-
	<i>Helichrysum stoechas</i>	Perpétuas das areias	Anual	Quase todo o País	-
	<i>Leontodon tuberosus</i>	-	Perene	Muito Frequente	-
	<i>Taraxacum vulgare</i>	-	Perene	Frequente	-
<i>Cistaceae</i>	<i>Cistus crispus</i>	Roselha	Lenhosa	Muito Frequente	-
	<i>Cistus ladanifer</i>	Xara	Lenhosa	Vulgar	-
	<i>Cistus monspeliensis</i>	Sargaço	Lenhosa	Frequente	-
	<i>Cistus salvifolius</i>	Sargaço	Lenhosa	Frequente	-
	<i>Tuberaria guttata</i>	Alcar	Anual	Frequente	-
<i>Caprifoliaceae</i>	<i>Lonicera periclymenum</i>	Madressilva	Anual	Comum	-
	<i>Lonicera implexa</i>	Madressilva	Lenhosa	Frequente	-
	<i>Viburnum tinus</i>	Folhado	Perene	Frequente	-
<i>Crassulaceae</i>	<i>Umbilicus rupestris</i>	Umbigo	Anual	Muito Frequente	-
<i>Cyperaceae</i>	<i>Scirpus holochoenus</i>	-	Perene	Frequente	-

	<i>Carex distachya</i>	-	Perene	Não Rara	-
<i>Dioscoreaceae</i>	<i>Tamus communis</i>	Uva de cão	Perene	Frequente	-
<i>Ericaceae</i>	<i>Arbutus unedo</i>	Medronheiro	Lenhosa	Quase todo o País	-
	<i>Erica lusitanica</i>	Urze	Lenhosa	Frequente	-
<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Daphne gnidium</i>	Trovisco	Lenhosa	Vulnerável	-
	<i>Euphorbia helioscopia</i>	Eufórbia	Anual	Muito Frequente	-
<i>Fagaceae</i>	<i>Quercus coccifera</i>	Carrasco	Lenhosa	Frequente	X
	<i>Quercus faginea</i>	Carvalho cerquinho	Lenhosa	Frequente	X
	<i>Quercus Rotundifolia</i>	Azinheira	Lenhosa	Não rara	X
	<i>Quercus suber</i>	Sobreiro	Lenhosa	Não rara	X
<i>Gramineae</i>	<i>Arundo donax</i>	Cana	Perene	Frequente	-
	<i>Dactylis glomerata</i>	Panasco	Perene	Quase todo o País	-
<i>Juncaceae</i>	<i>Juncus bufonicus</i>	Junco	Anual	Quase todo o País	-
<i>Liliaceae</i>	<i>Asparagus officinalis</i>	Espargo	Lenhosa	Frequente	-
	<i>Asparagus acutifolius</i>	Espargo bravo menor	Lenhosa	Frequente	-
	<i>Asparagus aphyllus</i>	Espargo bravo maior	Lenhosa	Frequente	-
	<i>Asphodelus albus</i>	Gaimão	Herbácea/Vivaz	Frequente	-
	<i>Ruscus aculeatus</i>	Gilbardeira	Lenhosa	Vulnerável	X
	<i>Smilax aspera</i>	Salsa parrilha	Lenhosa	Frequente	-
<i>Labiatae</i>	<i>Lamium amplexicaule</i>	Lâmio	Anual	Frequente	-
	<i>Lavandula stoechas</i>	Rosmaninho	Lenhosa	Frequente	-
	<i>Salvia verbenaca</i>	Salva	Perene	Muito Frequente	-
	<i>Stachys arvensis</i>	-	Anual	Frequente	-
	<i>Teucrium fruticans</i>	Pólio	Perene	Frequente	-
<i>Leguminosae</i>	<i>Calicotome villosa</i>	-	Perene	Pouco comum	X

	<i>Cytisus grandiflorus</i>	Giesta	Lenhosa	Vulgar	-
	<i>Lathyrus annuus</i>	-	Anual	Frequente	-
	<i>Lupinus luteus</i>	Tremoço amarelo	Anual	Quase todo o País	-
	<i>Retama sphaerocarpa</i>	Piorno	Lenhosa	Frequente	-
	<i>Vicia sativa</i>	Ervilhaca	Anual	Frequente	-
	<i>Vicia lutea</i>	Ervilhaca	Anual	Frequente	-
	<i>Vicia villosa</i>	Ervilhaca	Anual	Frequente	-
<i>Lauraceae</i>	<i>Laurus nobilis</i>	Loureiro	Lenhosa	Frequente	X
<i>Myrtaceae</i>	<i>Eucalyptus globus</i>	Eucalipto	Lenhosa	Introduzido	-
<i>Moraceae</i>	<i>Ficus carica</i>	Figueira	Lenhosa	Frequente	-
<i>Oleaceae</i>	<i>Fraxinus angustifolia</i>	Freixo	Lenhosa	Quase todo o País	X
	<i>Olea europaea</i>	Oliveira	Lenhosa	Frequente	-
	<i>Olea europaea var sylvestris</i>	Zambujeiro	Lenhosa	Frequente	-
	<i>Phillyrea latifolia</i>	Aderno	Lenhosa	Não Rara	-
	<i>Phillyrea angustifolia</i>	Lentisco bastardo	Lenhosa	Muito Frequente	-
<i>Oxalidaceae</i>	<i>Oxalis pes-caprae</i>	Azedas	Perene	Muito Frequente	-
<i>Paeoniaceae</i>	<i>Paeonia broteroi</i>	Rosa albardeira	Herbácea	Frequente	-
<i>Papaveraceae</i>	<i>Fumaria muralis</i>	Erva molarinha	Anual	Quase todo o País	-
	<i>Papaver rhoeas</i>	Papoila	Anual	Quase todo o País	-
<i>Pinaceae</i>	<i>Pinus halapensis</i>	Pinheiro de Alepo	Lenhosa	Frequente	-
	<i>Pinus Pinea</i>	Pinheiro manso	Lenhosa	Frequente	X
<i>Polypodiaceae</i>	<i>Polypodium cambricum</i>	Polipodio	Herbácea	Frequente	-
<i>Polygonaceae</i>	<i>Rumex pulcher</i>	Labaga	Perene	Frequente	-
<i>Rosaceae</i>	<i>Crataegus monogyna</i>	Pilriteiro	Lenhosa	Frequente	-
	<i>Rosa canina</i>	Rosa silvestre	Lenhosa	Frequente	-
	<i>Rosa sempervirens</i>	Roseira brava	Lenhosa	Frequente	-
	<i>Rubus ulmifolius</i>	Silva	Lenhosa	Quase todo o País	-

	<i>Sanguisorba minor</i>	Pimpinela	Vivaz	Frequente	-
	<i>Sanguisorba hybrida</i>	-	Lenhosa	Frequente	-
	<i>Pyrus bourgaeana</i>	Pereira brava	Lenhosa	Quase todo o País	-
<i>Ranunculaceae</i>	<i>Ranunculus aquaticus</i>	Ranunculo	Vivaz	Não rara	-
	<i>Ranunculus bulbosus</i>	Campainhas	Vivaz	Não rara	-
	<i>Ranunculus ficaria</i>	Ficária	Vivaz	Frequente	-
<i>Rhamnaceae</i>	<i>Rhamnus alaternus</i>	Aderno bastardo	Lenhosa	Frequente	-
	<i>Rhamnus lycioides</i>	Espinheiro	Lenhosa	Frequente	-
<i>Rubiaceae</i>	<i>Rubia peregrina</i>	Ruiva brava	Perene	Frequente	-
	<i>Sherardia arvensis</i>	-	Anual	Frequente	-
<i>Rutaceae</i>	<i>Ruta chalapensis</i>	Arruda	Perene	Não rara	-
<i>Scrophulariaceae</i>	<i>Linaria spartea</i>	Esporas	Anual	Frequente	-
	<i>Silene colorata</i>	Silene	Vivaz	Frequente	-
<i>Salicaceae</i>	<i>Populus nigra</i>	Choupo negro	Lenhosa	Frequente	X
	<i>Salix atrocinera</i>	Salgueiro preto	Lenhosa	Vulnerável	X
	<i>Salix alba</i>	Salgueiro	Lenhosa	Frequente	-
<i>Solanaceae</i>	<i>Solanum nigrum</i>	Erva moura	Herbácea	Cosmopolita	-
<i>Umbelliferae</i>	<i>Foeniculum vulgare</i>	Funcho	Perene	Frequente	-
	<i>Thapsia maxima</i>	-	Perene	Não Rara	-
<i>Urticaceae</i>	<i>Urtica dioica</i>	Urtigão	Perene	SubCosmopolita	-

Elenco Faunístico

Classe	Ordem	Família	Espécie	Nome Vulgar	Estatuto Cons. Portugal	Anexos da CITES	Anexos da Conv. Berna	Estatuto Cinegético	Directiva Habitats e Aves
Mamíferos	Insectívora	Talpidae	<i>Talpa occidentalis</i>	Toupeira	Nt	-	-	-	-
		Erinaceidae	<i>Erinaceus europaeus</i>	Ouriço-Cacheiro	Nt	-	III	-	-
		Crossiduridae	<i>Crossidura russula</i>	Musaranho comum	Nt	-	III	-	-
		Muridae	<i>Mus musculus</i>	Rato caseiro	Nt	-	-	-	-
			<i>Mus spretus</i>	Rato do campo	Nt	-	-	-	-
			<i>Apodemus sylvaticus</i>	Rato do campo	Nt	-	-	-	-
			<i>Rattus norvegicus</i>	Ratazana cinzenta	Nt	-	-	-	-
			<i>Rattus rattus</i>	Ratazana preta	Nt	-	-	-	-
			<i>Oryctolagus cuniculus</i>	Coelho-Bravo	Nt	-	-	C	-
	Lagomorpha	Leporidae	<i>Lepus capensis</i>	Lebre	Nt	-	III	C	-
Carnívora	Viverridae		<i>Genetta genetta</i>	Geneta	Nt	-	III	CR	-
			<i>Herpestes ichnemon</i>	Sacarrabos	Nt	-	III	C	-
		Canidae	<i>Vulpes vulpes</i>	Raposa	Nt	-	-	C	-
		Mustelidae	<i>Lutra lutra</i>	Lontra	K	I	II	-	II / IV
			<i>Mustela nivalis</i>	Doninha	Nt	-	III	CR	-
			<i>Mustela putorius</i>	Toirão	K	-	III	CR	-
			<i>Martes foina</i>	Fuinha	Nt	-	III	CR	-
			<i>Meles meles</i>	Texugo	Nt	-	III	CR	-
		Suidae	<i>Sus scrofa</i>	Javali	Nt	-	-	C	-

Herpetofauna		Répteis		Anfibios		Avifauna	
Testudines	Emydidae	Mauremys leprosa	Cágado	Nt	-	II	-
	Gekkonidae	Tarentola mauritanica	Osga	Nt	-	III	-
Sauria	Amphisbaenidae	Blanus cinereus	Cobra-Cega	Nt	-	III	-
	Lacertidae	Psammodromus algirus	Lagartixa do mato	Nt	-	III	-
		Psammodromus hispanicus	Lagartixa do mato ibérica	Nt	-	III	-
		Podarcis bocagei	Lagartixa	Nt	-	III	-
		Lacerta lepida	Sardão	Nt	-	II	-
Serpentes	Colubridae	Coluber hippocrepis	Cobra de ferradura	Nt	-	II	-
		Elaphe scalaris	Cobra de escada	Nt	-	III	-
		Natrix maura	Cobra de água viperina	Nt	-	III	-
Caudata	Salamandridae	Pleurodeles waltl	Salamandra das costelas salientes	Nt	-	III	-
		Salamandra salamandra	Salamandra de pintas amarelas	Nt	-	III	-
		Triturus boscai	Tritão de ventre laranja	Nt	-	III	endemismo
Anura	Discoglossidae	Triturus marmoratus	Tritão marmorado	Nt	-	III	-
		Alytes cisternasii	Sapo parteiro ibérico	Nt	-	II	endemismo
		Discoglossus galganoi	Rã de focinho pontiagudo	Nt	-	II	endemismo
	Pelobatidae	Pelobates cultripes	Sapo de unha negra	Nt	-	II	-
	Pelodytidae	Pelodytes punctatus	Sapinho de verrugas verdes	Nt	-	III	-
	Bufonidae	Bufo bufo	Sapo	Nt	-	III	-
		Bufo calamita	Sapo corredor	Nt	-	II	-
	Hylidae	Hyla meridionalis	Rela	Nt	-	II	IV
	Ranidae	Rana perezi	Rã verde	Nt	-	III	IV
				Nt	-	III	V
Pelecaniformes	Phalacrocoracidae	Phalacrocorax carbo	Corvo marinho faces brancas	Nt	-	III	-
	Ciconiformes	Bubulcus ibis	Garça boeira	Nt	C1	II	-
		Egretta garzetta	Garça branca pequena	Nt	C1	II	-
		Ardea cinerea	Garça cinzenta	Nt	-	III	I
							-

	<i>Anseriformes</i>	<i>Ciconiidae</i>	<i>Ciconia ciconia</i>	Cegonha branca	Vul	-	II	-	I
		<i>Anatidae</i>	<i>Anas platyrhynchos</i>	Pato real	Nt	-	III	C	II / 1 III / 1
<i>Accipitriformes</i>		<i>Accipitridae</i>	<i>Milvus milvus</i>	Milhafre real	Nt	II/C1	II	-	1
			<i>Milvus migrans</i>	Milhafre preto	Nt	II/C1	II	-	1
			<i>Circus cyaneus</i>	Tartarã azulado	Nt	II/C1	II	-	I
			<i>Buteo Buteo</i>	Águia asa redonda	Nt	II/C1	II	-	-
<i>Falconiformes</i>		<i>Falconidae</i>	<i>Falco tinnunculus</i>	Peneireiro vulgar	Nt	II/C1	II	-	-
<i>Gruiformes</i>		<i>Rallidae</i>	<i>Gallinula chloropus</i>	Galinha d'água	Nt	-	III	C	II/2
<i>Galliformes</i>		<i>Phasianidae</i>	<i>Alectoris rufa</i>	Perdiz comum	Nt	-	III	C	II / 1 III / 1
			<i>Coturnix coturnix</i>	Codorniz	Nt	-	III	C	II / 2
		<i>Charadriidae</i>	<i>Pluvialis apricaria</i>	Tarambola dourada	Nt	-	III	C	I, II/2, III/3
			<i>Vanellus vanellus</i>	Abibe	Nt	-	III	C	-
		<i>Laridae</i>	<i>Larus fuscus</i>	Gaivota asa escura	Nt	-	-	-	-
<i>Charadriiformes</i>		<i>Scolopacidae</i>	<i>Larus ridibundus</i>	Guincho	Nt	-	III	-	-
<i>Columbiformes</i>		<i>Columbidae</i>	<i>Scolopax rusticola</i>	Galinholá	K	-	III	C	II/1, III/3
			<i>Columba oenas</i>	Pombo bravo	K	-	III	C	II/2
			<i>Columba palumbus</i>	Pombo torcaz	Nt	-	-	C	II/1, III/1
			<i>Streptopelia turtur</i>	Rola comum	Vul	-	III	C	II/2
<i>Cuculiformes</i>		<i>Cuculidae</i>	<i>Clamator glandarius</i>	Cuco rabilongo	K	-	II	-	-
			<i>Cuculus canorus</i>	Cuco canoro	Nt	-	III	-	-
<i>Strigiformes</i>		<i>Tytonidae</i>	<i>Tyto alba</i>	Coruja das torres	Nt	II/C1	II	-	-
		<i>Strigidae</i>	<i>Onus scops</i>	Mochó de orelhas	Nt	II/C1	II	-	-
			<i>Bubo bubo</i>	Bufo real	R	II/C1	II	-	I
			<i>Athene noctua</i>	Mochó galego	Nt	II/C1	II	-	-
<i>Caprimulgiformes</i>		<i>Caprimulgidae</i>	<i>Strix aluco</i>	Coruja do mato	Nt	II/C1	II	-	-
<i>Apodiformes</i>		<i>Apodidae</i>	<i>Caprimulgus ruficollis</i>	Noitibó nuca vermelha	Nt	-	II	-	-
			<i>Apus apus</i>	Andorinhão preto	Nt	-	III	-	-
			<i>Alcedo atthis</i>	Guarda rios	Nt	-	II	-	-
<i>Coraciiformes</i>		<i>Meropidae</i>	<i>Merops apiaster</i>	Abelharuco	Nt	-	II	II	-
			<i>Upupa epops</i>	Poupa	Nt	-	II	-	-
<i>Piciformes</i>		<i>Picidae</i>	<i>Picus viridis</i>	Peto verde	Nt	-	II	-	-

Avifauna

			<i>Dendrocopus major</i>	Pica-pau malhado grande	Nt	-	II	-	-
			<i>Dendrocopus minor</i>	Pica-pau malhado pequeno	Nt	-	II	-	-
Passeriformes	Alaudidae		<i>Calandrella brachydactyla</i>	Calhandrinha	Nt	-	II	I	-
			<i>Galerida theklae</i>	Cotovia do monte	Nt	-	II	I	-
			<i>Galerida cristata</i>	Cotovia de poupa	Nt	-	III	-	-
			<i>Lullula arborea</i>	Cotovia pequena	Nt	-	III	I	-
			<i>Alauda arvensis</i>	Laverça	Nt	-	III	-	-
			<i>Riparia riparia</i>	Andorinha das baiteiras	Nt	-	II	-	-
			<i>Hirundo rustica</i>	Andorinha das chaminés	Nt	-	-	-	-
			<i>Hirundo daurica</i>	Andorinha daurica	Nt	-	II	-	-
			<i>Delichon urbica</i>	Andorinha dos beirais	Nt	-	II	-	-
			<i>Anthus pratensis</i>	Petinha dos prados	Nt	-	II	-	-
Passeriformes	Motacillidae		<i>Motacilla cinerea</i>	Alvéola cinzenta	Nt	-	II	-	-
			<i>Motacilla alba</i>	Alvéola branca	Nt	-	II	-	-
			<i>Troglodytes troglodytes</i>	Carriça	Nt	-	II	-	-
			<i>Turdus pilaris</i>	Tordo zornal	Nt	-	III	C	II/2
			<i>Prunella modularis</i>	Ferreirinha comum	Nt	-	II	-	-
			<i>Erythacus rubecula</i>	Pisco de peito ruivo	Nt	-	II	-	-
			<i>Luscinia megarhynchos</i>	Rouxinol comum	Nt	-	II	-	-
			<i>Phoenicurus ochrurus</i>	Rabirruivo preto	Nt	-	II	-	-
			<i>Saxicola torquata</i>	Cartaxo comum	Nt	-	II	-	-
			<i>Monticola solitarius</i>	Melro solitário	Nt	-	II	-	-
Passeriformes	Turdidae		<i>Turdus merula</i>	Melro	Nt	-	III	C	II/2
			<i>Turdus philomelos</i>	Tordo musical	Nt	-	III	C	II/2
			<i>Turdus iliacus</i>	Tordo asa ruiva	Nt	-	III	C	-
			<i>Turdus viscivorus</i>	Tordoveia	Nt	-	III	C	II/2
	Sylviidae		<i>Cisticola juncidis</i>	Fuinha dos caniços	Nt	-	II	-	-
			<i>Cettia cetti</i>	Rouxinol bravo	Nt	-	II	-	-
			<i>Hippolais polyglotta</i>	Felosa poliglota	Nt	-	II	-	-
Avifauna	Passeriformes								

[illegible]

			<i>Carduelis chloris</i>	Verdilhão comum	Nt	-	II	-	-
			<i>Carduelis carduelis</i>	Pintassilgo	Nt	-	II	-	-
			<i>Carduelis spinus</i>	Lugre	Nt	-	II	-	-
			<i>Carduelis cannabina</i>	Pintarroxo comum	Nt	-	II	-	-
			<i>Pyrrhula pyrrhula</i>	Dom fafe	Nt	-	III	-	-
		<i>Emberizidae</i>	<i>Miliaria calandra</i>	Trigueirão	Nt	-	III	-	-