

## SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA APLICADO À CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DO BLOCO DE REGA DE CANHESTROS (ALENTEJO, PORTUGAL)

A. P. Francés - Instituto Geológico e Mineiro (IGM), Departamento de Hidrogeologia  
frances.alain@igm.pt

E. A. Paralta - Instituto Geológico e Mineiro (IGM), Departamento de Hidrogeologia  
eduardo.parlalta@igm.pt

A. M. Costa - Instituto Geológico e Mineiro (IGM), Departamento de Hidrogeologia  
augusto.costa@igm.pt

*Instituto Geológico e Mineiro (IGM), Departamento de Hidrogeologia  
Apartado 7586, 2720-866 Alfragide, tel.: +351214705400*

### RESUMO

Com vista a assegurar a protecção, a melhoria e a prevenção da poluição das águas subterrâneas, está a ser desenvolvido pela Empresa de Desenvolvimento e Infra-Estruturas de Alqueva (EDIA) e pelo Instituto Geológico e Mineiro (IGM) um projecto de monitorização espaço-temporal da piezometria e da qualidade química das águas subterrâneas na área da Infra-estrutura nº12 (2ª fase do Perímetro de Rega de Odivelas). Esta monitorização sistemática permitirá definir, além de uma rede de monitorização a implementar no final do projecto, a situação de referência dos aspectos hidrodinâmicos e de qualidade da água, permitindo assim uma posterior avaliação dos potenciais impactes com origem nas alterações do uso do solo, nomeadamente relacionados com o incremento do regadio.

O SIG implementado para este projecto permite a integração dos dados de monitorização numa base de dados em *Microsoft Access 2000*<sup>®</sup>, preservando assim a qualidade, integridade, organização e segurança dos mesmos. A acoplagem com o *ESRI ArcView 3.2*<sup>®</sup> permite a manipulação e visualização dos dados de monitorização, o mapeamento dos resultados na forma de cartas temáticas e a análise do geosistema a partir do cruzamento de dados de natureza diversa, incluindo mapa de riscos e de vulnerabilidade aquífera, apoiando os técnicos de hidrogeologia nas operações de análise do sistema hidrogeológico e as suas relações com as modificações antropogénicas.

### PALAVRAS-CHAVE

Hidrogeologia, Rede de Monitorização, SIG, Base de Dados.

## 1 ENQUADRAMENTO DO PROJECTO

O bloco de rega de Canhestros, integra-se na 2ª fase do Perímetro de Rega da Barragem de Odivelas e foi uma das primeiras estruturas do sistema de rega do Alqueva a ser inaugurada em Fevereiro de 2002. O projecto “Redes de Monitorização Piezométrica e de Qualidade do Perímetro de Rega da Infra-estrutura nº12 da 2ª Fase do Regadio de Odivelas – Bloco de Rega de Canhestros” (IGM, 2001 -2004) tem como objectivo a monitorização espaço-temporal da evolução do nível de água no sub-solo e da qualidade das origens de água subterrânea, com vista à definição das redes de monitorização, a implementar no final do projecto.

No âmbito do projecto está a decorrer a monitorização sistemática da evolução dos níveis de água no subsolo (periodicidade trimestral) e o controle da qualidade físico-química das origens de água subterrânea (periodicidade trimestral ou semestral), incluindo despitagem de pesticidas, para definição da situação de referência dos aspectos hidrodinâmicos e de qualidade da água, permitindo assim uma posterior avaliação dos potenciais impactes com origem nas alterações do uso do solo, nomeadamente o incremento do regadio.

A área de estudo, correspondente à Infra-estrutura nº12 e zona contígua, desenvolve-se numa extensão de cerca de 100 km<sup>2</sup> entre Figueira de Cavaleiros e Canhestros, a cerca de 5 km a ocidente de Ferreira do Alentejo. A geologia dominante pertence à formação do Esbarrondadoiro de idade Miocénica e às formações Plio-Quaternárias de cobertura. A figura 1 representa o mapa geológico da área de estudo.

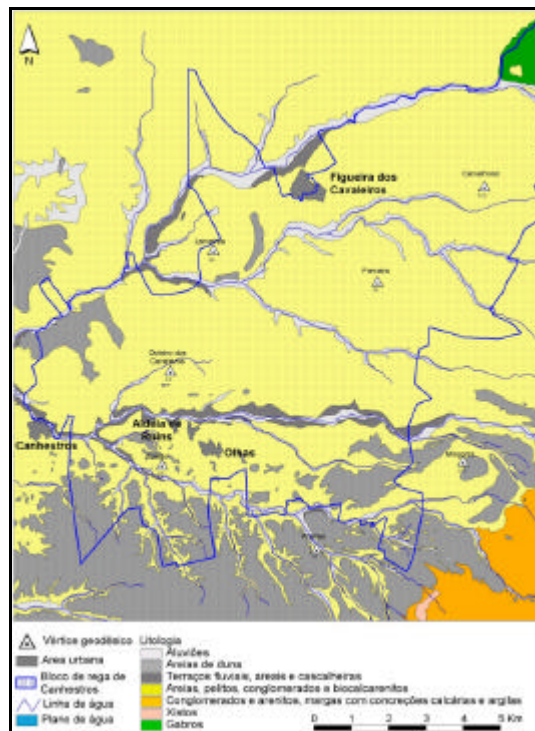


Figura 1 - Geologia simplificada da zona de estudo (IGM)

As litologias presentes são constituídas por conglomerados, margas, calcários gresosos com seixos, calcários margosos, argilas, arenitos e areias, em níveis alternantes. O substrato hercínico da bacia é constituído por xistos paleozóicos do complexo vulcano-silicioso, detectados a 200 metros de profundidade numa sondagem antiga realizada em Figueira de Cavaleiros.

O sistema hidrogeológico dominante na área de estudo corresponde à Formação de Esbarrondadoiro (Miocénico), de fácies detrítica, e aos depósitos Plio-Quaternários de cobertura. É possível identificar-se um aquífero poroso freático, próximo da superfície, e, em profundidade, vários níveis aquíferos semiconfinados a confinados, constituindo no conjunto um sistema multicamada complexo, em que o aquífero superficial se apresenta mais vulnerável à contaminação pontual e difusa de origem agrícola.

Os aspectos mais relevantes da hidrogeologia da área de estudo e dos resultados obtidos com a monitorização estão descritos em Paralta *et al.* (2003).

## **2 DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA**

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), cujas funções principais são o armazenamento, a representação e a análise de dados georeferenciados, têm demonstrado ser uma ferramenta essencial para o estudo dos sistemas hidrogeológicos e para a cartografia ambiental, permitindo uma melhor compreensão da multiplicidade de fenómenos que influenciam os sistemas naturais. A rapidez, a facilidade de visualização, a fiabilidade, a precisão e o grau de pormenor são os atributos que fazem destes sistemas uma ferramenta versátil de apoio ao planeamento e à tomada de decisão por parte das entidades responsáveis pela gestão e ordenamento do território.

Em relação ao projecto em curso, os SIG, além das capacidades de armazenamento e compilação da informação, constituem uma ferramenta adequada para a avaliação das condições hidrogeológicas e da vulnerabilidade à poluição dos sistemas aquíferos em áreas de agricultura intensiva através das funções seguintes:

1. integração e visualização dos dados referentes à monitorização piezométrica e hidroquímica;
2. análise dos geosistemas a partir da análise e do cruzamento de dados de natureza diversa e do mapeamento dos resultados na forma de cartas temáticas.

O sistema implementado é composto por dois módulos fundamentais para o armazenamento, compilação, organização e visualização dos dados. O primeiro é constituído por uma base de dados realizada em *Microsoft Access 2000*<sup>®</sup> que é acoplada ao software de SIG *ESRI ArcView*<sup>®</sup> 3.2, permitindo uma interactividade entre os dados alfanuméricos e a componente cartográfica, sendo possível a rápida actualização dos dados e dos respectivos mapas em ambiente SIG.

### **2.1 Breve descrição da Base de Dados**

A principal componente para o bom funcionamento dum SIG é a Base de Dados associada. Dela vai depender o desempenho e a eficácia do SIG, que passam pela boa organização, compilação e qualidade do

armazenamento dos dados. É evitada a repetição da informação e conservada a integridade dos dados a partir da criação de chaves únicas para cada registo e de relações entre os dados através de códigos (figura 2). Os dados estão armazenados nos campos de várias tabelas temáticas relacionadas entre elas por um código único para cada registo. Estas relações permitem também a realização das mais várias pesquisas entre os dados e o cruzamento de diferentes tipos de informação.

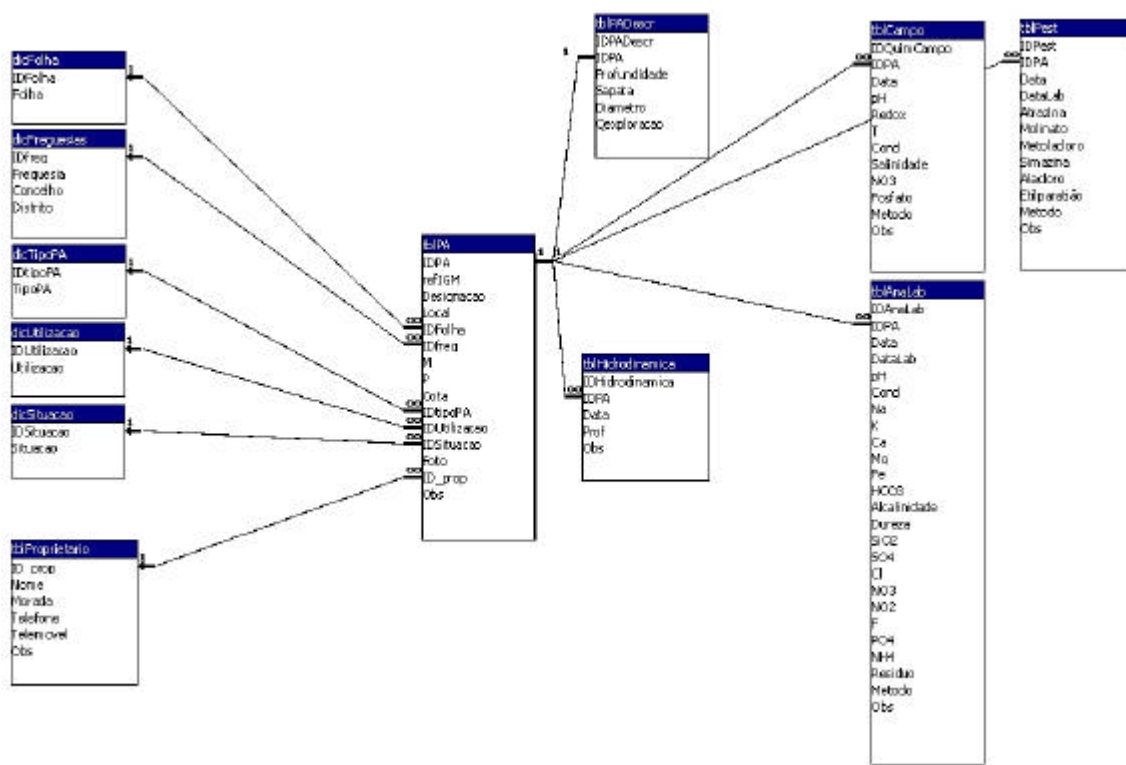


Figura 2 – Organização da Base de Dados hidrogeológica.

A criação de interfaces para comunicar com os vários utilizadores é outra vantagem das bases de dados. Assim, é possível efectuar as operações de introdução, edição, consulta e exportação dos dados através de formulários amigáveis (figura 3). Estes formulários permitem também a criação de pequenos programas de controlo dos dados, como sejam a criação de um código único para cada ponto de água, a verificação das coordenadas em função do número da folha da carta escolhida, etc.. Outra vantagem é a definição de diferentes níveis de prioridades para cada tipo de utilizador da Base de Dados, tais como administrador da Base de Dados, operador de cópia de segurança, técnicos de introdução dos dados, consultor, etc.. Assim, através de um código de utilizador e de palavra passe, cada tipo de utilizador pode aceder a uma parte da Base de Dados. Por exemplo, o técnico de introdução dos dados só terá acesso aos formulários previstos para o efeito, e não terá privilégios para modificar as tabelas ou as relações entre elas. Do mesmo modo, um consultor dos dados só poderá visualizar e exportar dados, não tendo permissão para os editar ou modificar .

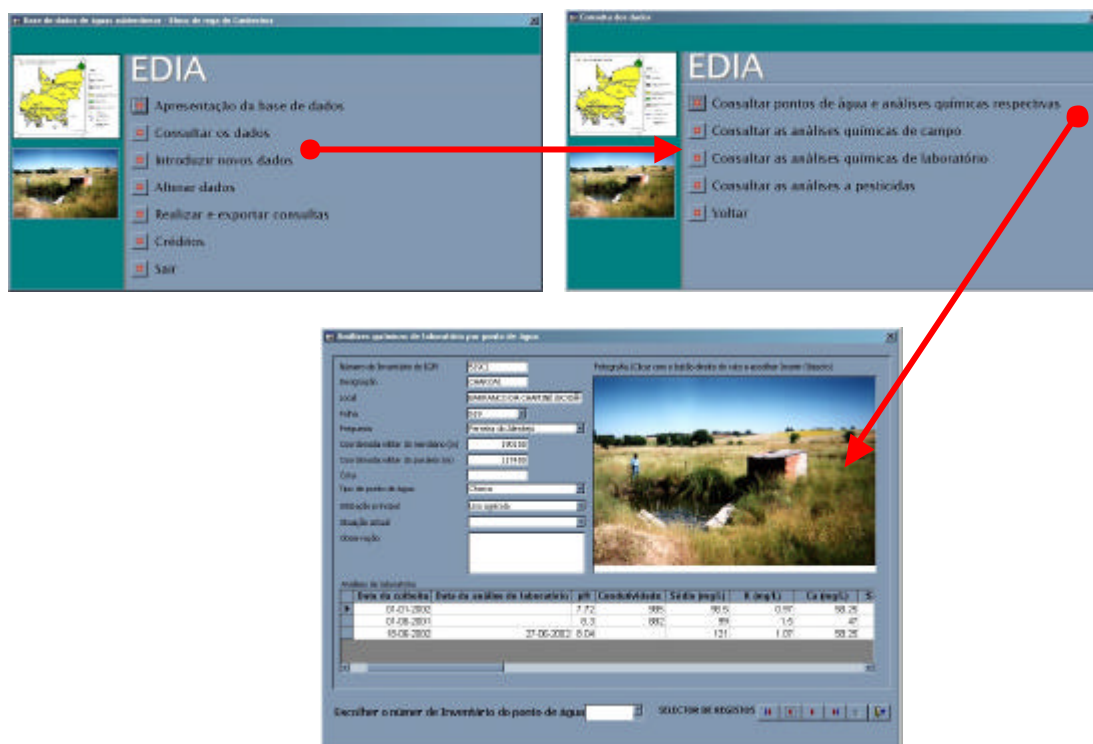


Figura 3 - Painéis de navegação da Base de Dados e formulário de consulta dos pontos de água e respectivas análises químicas.

## 2.2 Funcionalidades do SIG

### 2.2.1 Cartografia ambiental

O sistema implementado apresenta uma grande versatilidade pois pode importar-se do Access não só as tabelas como também as consultas sobre várias tabelas ligadas através do comando *SQL Connect* (figura 4 e 5). Além do mais, qualquer actualização que seja feita na base de dados, tal como introdução de novos pontos de água no inventário ou correcção de coordenadas, é imediatamente actualizada no SIG sem qualquer nova intervenção do utilizador. No exemplo da figura 4, apresenta-se uma consulta que permite aglomerar numa única tabela as características dos pontos de água tais como identificador do ponto de água, coordenadas e tipo de ponto de água e os dados de química de uma determinada campanha de análise química das águas (neste caso a campanha de Janeiro 2002). O passo seguinte consiste em criar uma ligação em ambiente *ArcView* entre a consulta realizada na base de dados e uma nova tabela, denominada *Analise\_Quim\_Janeiro* (figura 5). Esta tabela serve de base para a projecção dos pontos nos mapas temáticos a realizar, tais como mapa de concentração de nitratos para uma dada época ou mapa de inventário dos pontos de água (figura 6 e 7).

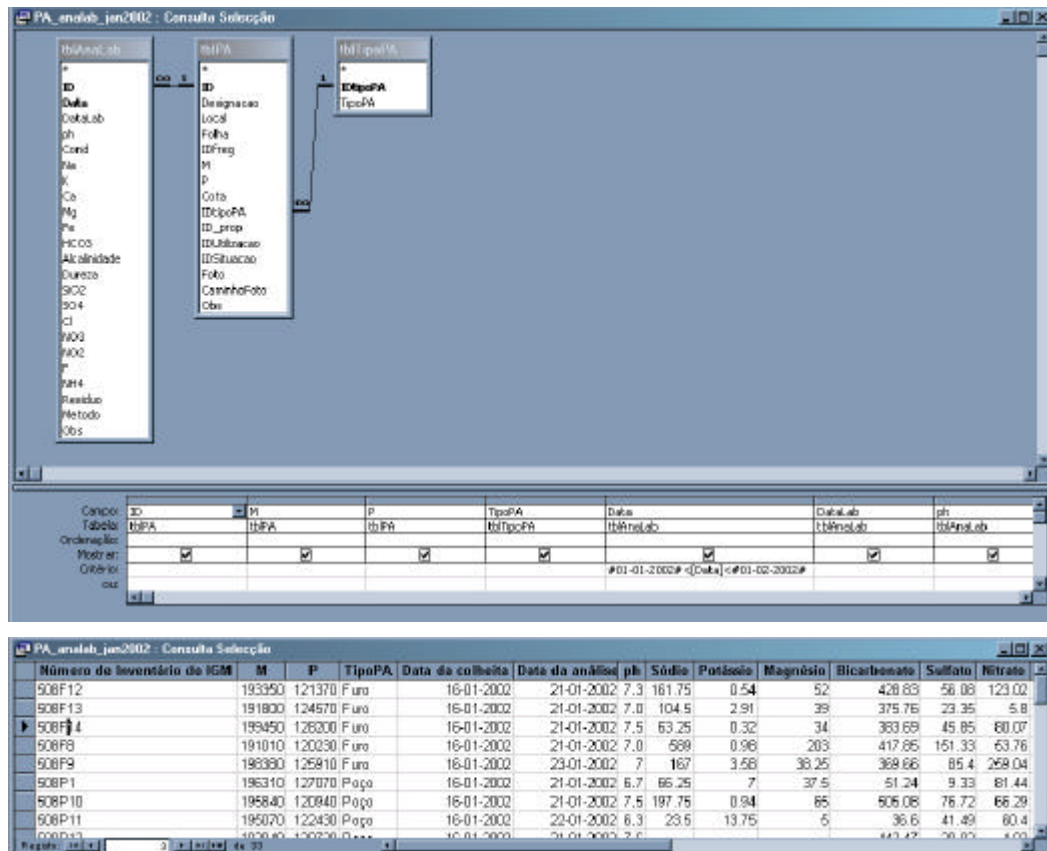


Figura 4 - Criação de uma consulta sobre as tabelas tblPA (ID, coordenadas M e P), tblTipoPA (Tipo de ponto de água) e tblAnaLab (dados de análise química) e tabela resultante desta consulta (PA\_analab\_jan2002).

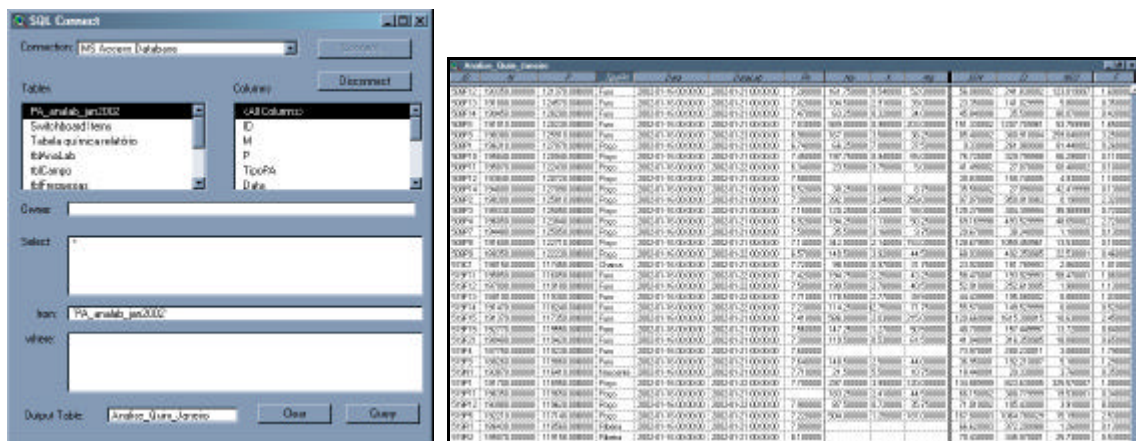


Figura 5 - Importação da consulta PA\_analab\_jan2002 na tabela Analise\_Quim\_Janeiro em ambiente ArcView, sendo ligada à consulta PA\_analab\_jan2002 realizada em Access. A partir das colunas M e P os pontos de água são projectadas numa View (ver figura 6).

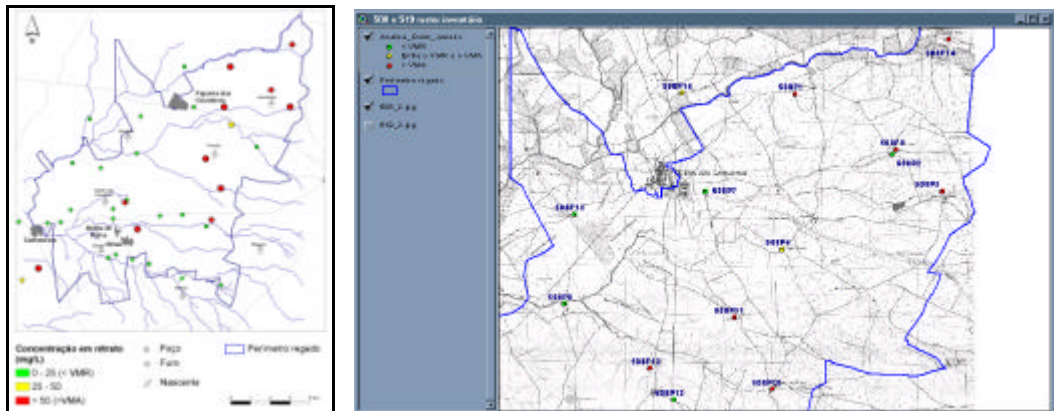


Figura 6 - Concentração de nitratos representados em função dos valores máximos recomendados e admissíveis (respectivamente VMR e VMA) do Decreto Lei 236/98 de 1 de Agosto a partir da tabela Análise\_Quim\_Janeiro.

Outra vantagem deste sistema é a semi-automatização de saídas gráficas padronizadas através de *Layouts* tais como os que estão apresentados nos relatórios de progresso semestrais (figura 7).

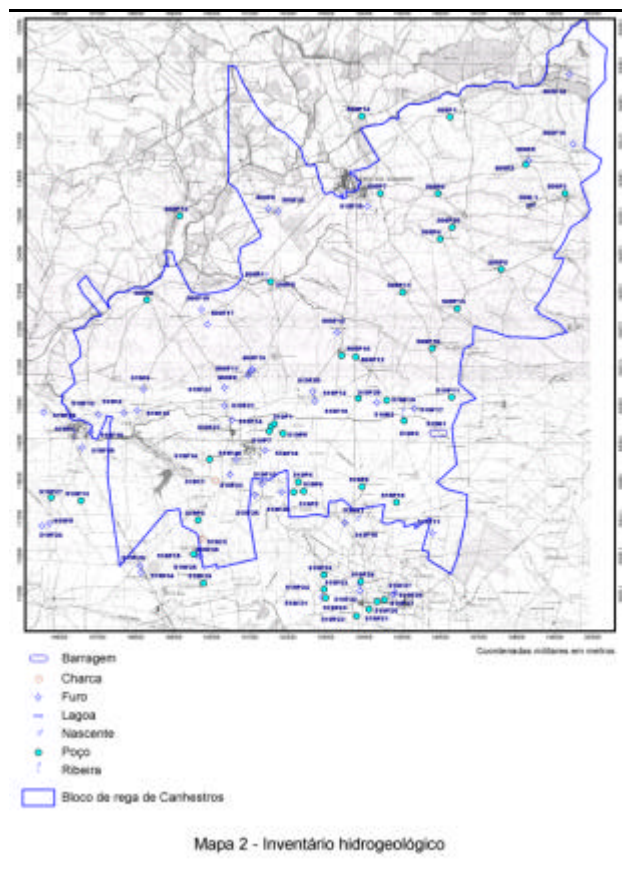


Figura 7 - Exemplo de mapa de inventário hidrogeológico para integração em relatórios.

## 2.3 Análise do sistema hidrogeológico

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

Com a finalidade de manter a qualidade química das águas subterrâneas, criaram-se um conjunto de ferramentas de que fazem parte os mapas de vulnerabilidade, que pretendem definir espacialmente o grau de protecção de um aquífero à poluição de origem natural ou antrópica.

Os mapas de vulnerabilidade à poluição são geralmente elaborados a partir do cruzamento de vários níveis de informação (parâmetros geológicos e hidrogeológicos, ocupação do solo, etc.) aos quais podem ser atribuídos factores de ponderação em função da sua importância na contribuição para a vulnerabilidade do aquífero. As ferramentas informáticas, nomeadamente as de análise espacial em formato *raster*, são fundamentais nestes cálculos pela facilidade e rapidez de execução que permitem.

Neste projecto foi realizada uma análise de sensibilidade entre vários métodos empíricos e qualitativos cujos resultados são comparados com os registos da monitorização espaço-temporal já realizados (Paralta *et al.*, 2002). Os resultados obtidos referem-se ao sub-sistema aquífero mio-pliocénico freático que devido à sua reduzida profundidade é mais vulnerável. Os métodos aplicados foram o DRASTIC, o DRASTIC PESTICIDE.

### 2.3.1 Índice DRASTIC e DRASTIC PESTICIDE

O método DRASTIC de avaliação e mapeamento da vulnerabilidade foi proposto por Aller *et al.* (1987). É um método de avaliação da vulnerabilidade intrínseca dos aquíferos, isso é considera para o cálculo do índice apenas as características intrínsecas do aquífero. O método DRASTIC PESTICIDE (Aller *et al.*, 1987) é derivado do precedente. Foram apenas modificados os factores de ponderação atribuídos aos parâmetros DRASTIC tendo em conta os processos de atenuação dos pesticidas nos solos e na zona vadosa (Quadro 1).

O índice de vulnerabilidade DRASTIC corresponde ao somatório ponderado dos 7 parâmetros ou indicadores hidrogeológicos que a seguir se referem:

PARÂMETROS	PONDERADORES DRASTIC	PONDERADORES DRASTIC PESTICIDE
D - Profundidade do nível	5	5
R - Recarga	4	4
A - Material do aquífero	3	3
S - Tipo de solo	2	5
T - Topografia	1	3
I - Impacte da zona não	5	4
C - Condutividade hidráulica	3	2

Quadro 1 - Parâmetros DRASTIC e DRASTIC PESTICIDE e respectivos ponderadores



O DRASTIC varia entre 23 e 226 e o DRASTIC PESTICIDE entre 26 e 256, sendo os valores mais altos indicadores de uma vulnerabilidade maior.

Cada um dos 7 parâmetros DRASTIC é dividido quer em escalas quer em tipos de meios significativos que condicionam o potencial de poluição.

### **2.3.2 Metodologia**

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

Segue-se a descrição da metodologia aplicada para cada um dos parâmetros.

#### **2.3.2.1 Parâmetro D - Profundidade do nível freático**

Os valores medidos variam entre 1,5 e 4,6 metros pelo que foi atribuído o valor de 9 ao parâmetro D para a totalidade da área em estudo.

#### **2.3.2.2 Parâmetro R - Recarga**

Admite-se uma recarga directa mínima do sub-sistema superficial na ordem dos 30% da precipitação média anual (160 mm/ano) em toda a área, o que corresponde a um índice de 9.

#### **2.3.2.3 Parâmetro A - Material do aquífero**

Foram utilizadas as folhas 42-B e 42-D da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000 (IGM). A atribuição dos índices de cada classe litológica faz-se na tabela de atributos associada aos elementos gráficos vectoriais poligonais da geologia. Realiza-se uma consulta para seleccionar uma única classe litológica e a partir da ferramenta *Calculate* preenche-se a coluna (neste caso denominada A) do índice com o valor adequado.

Em seguida converte-se a informação vectorial em informação *raster* (ver figura 8), utilizando como valor a atribuir para cada célula da *grid* de output o valor contida na coluna A.

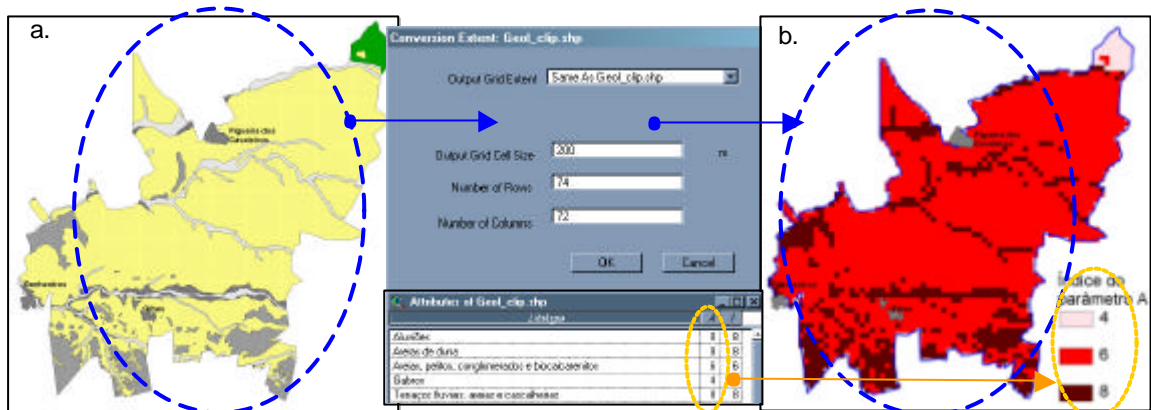


Figura 8 - Discretização da geologia numa malha de resolução 200 x 200 m (a.) usando o campo A da tabela associada aos objectos gráficos poligonais de *input* (b.).

#### 2.3.2.4 Parâmetro S - Tipo de solo

O mapa do solo da figura 9 foi elaborado a partir das folhas 508 e 519 da Carta de Solos à escala 1:25000 (IDRHa).

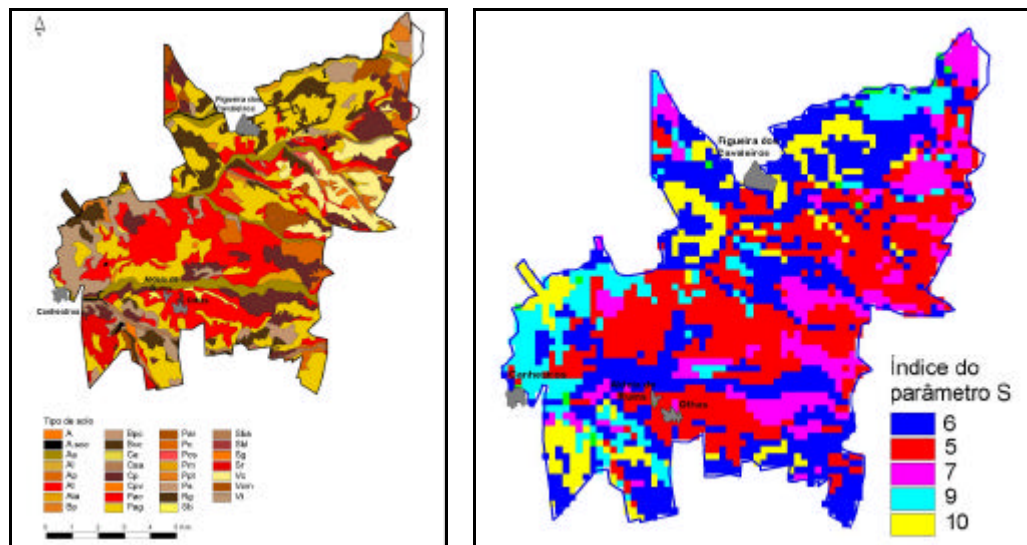


Figura 9 – Mapa de solo (IDRHa) e mapa dos índices do parâmetro I

A reclassificação do tipo de solo para um valor do parâmetro S foi realizada segundo a metodologia descrita em Lobo Ferreira *et al* (1997). Para o efeito, foi realizado um programa de automatização da reclassificação em Visual Basic for Applications em ambiente *Microsoft Excel*<sup>®</sup>.

### 2.3.2.5 Parâmetro T - Topografia

Utilizando a extensão *3D Analyst*, foi criado o modelo digital de terreno (figura 10) da área de estudo a partir de 3 folhas da Carta Militar de Portugal à escala 1:25000 (IGeoE).

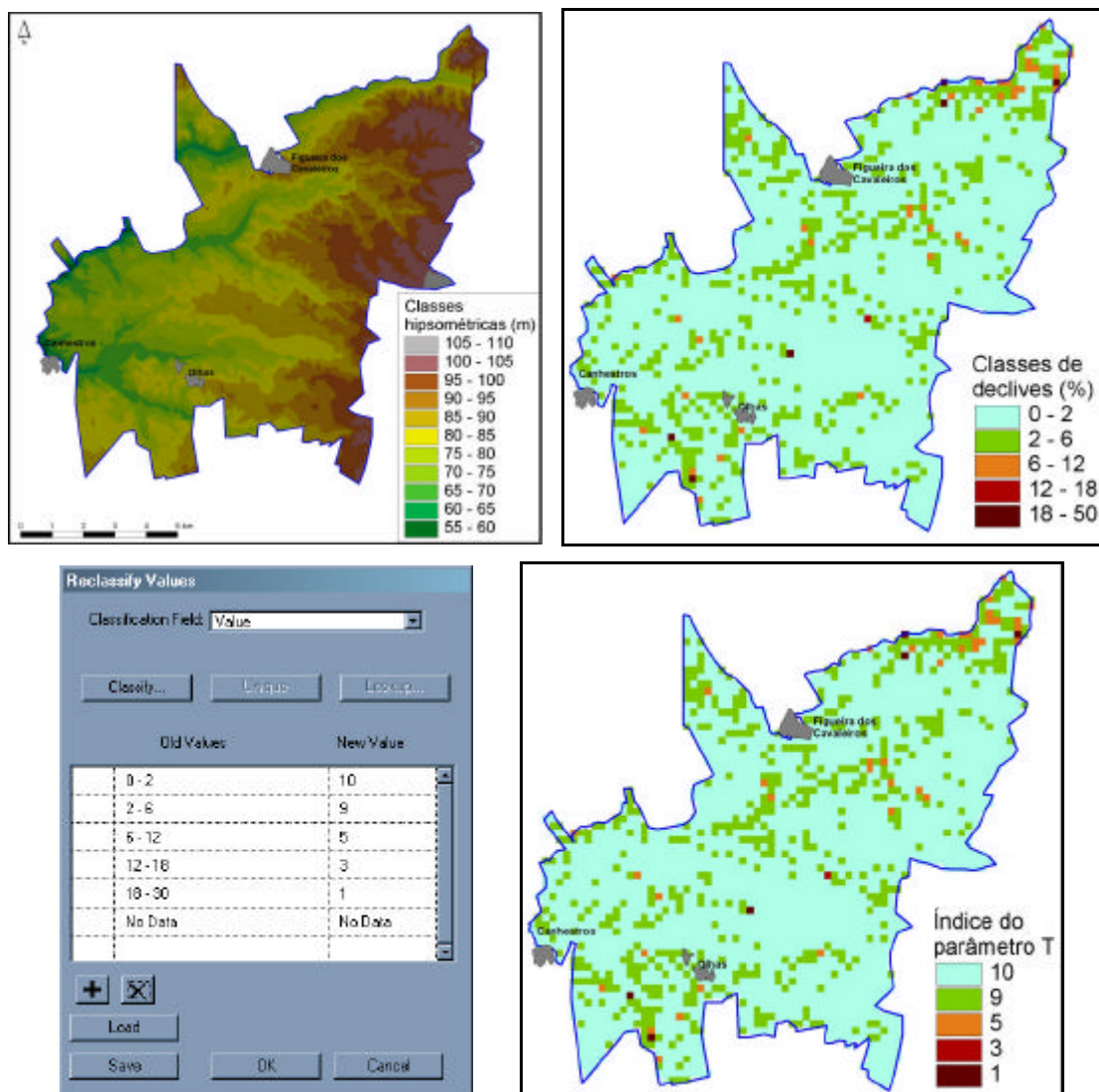


Figura 10 – Modelo digital de terreno, mapa de declives e reclassificação das classes de declives no respectivo índice do parâmetro T.

As curvas de nível foram definidas como *Soft Breaklines*, a hidrografia como *Hard Breaklines*, os pontos cotados como *Mass Points* e o perímetro do bloco de rega como *Soft Clip Polygons*. O tin obtido foi convertido no mapa de classes de declives, em formato *grid*, utilizando a ferramenta *Derive Slope*. Com a ferramenta *Reclassify* foi atribuído o índice a cada classe de declives do parâmetro T.

### 2.3.2.6 Parâmetro I - Impacte da zona não saturada

Sendo o aquífero superior do tipo livre e pososo, considerou-se o material da zona não saturada como sendo o mesmo que o material do aquífero. Foi por tanto seguido a mesma metodologia aplicada ao parâmetro A (figura 11).

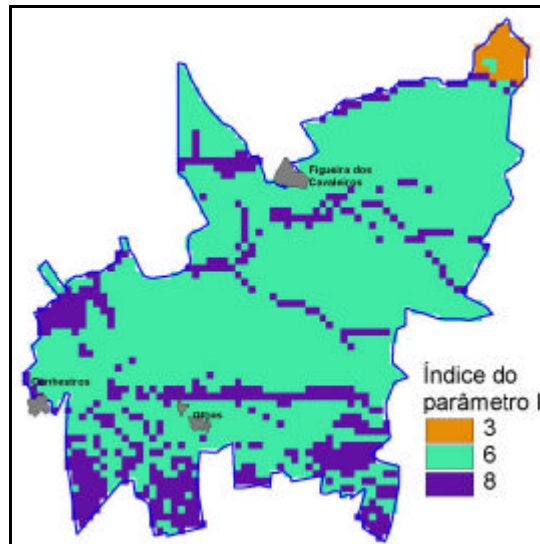


Figura 11 – Mapa dos índices do parâmetro I.

### 2.3.2.7 Parâmetro C - Condutividade hidráulica

Devido à escassez dos dados de condutividade hidráulica, não foi possível criar uma superfície representativa da variação espacial deste parâmetro. Foi por tanto atribuído um valor representativo a toda a formação aquífera (classe 4.1-12.2 m/dia o que corresponde à um valor de C igual a 2).

### 2.3.2.8 Resultados

Uma vez todas as superfícies obtidas, a etapa seguinte consiste em realizar a soma ponderada dos vários índices em cada célula da *grid* através do *Map Calculator* (figura 12). No *Layout* de saída, apresenta-se os resultados da determinação do DRASTIC com uma legenda padronizada e um histograma que permite evidenciar as classes mais representativas do mapa. Note-se que as classe de vulnerabilidade mais representadas para o DRASTIC são médias e para o DRASTIC PESTICIDE são média-altas (figura 12 e13).

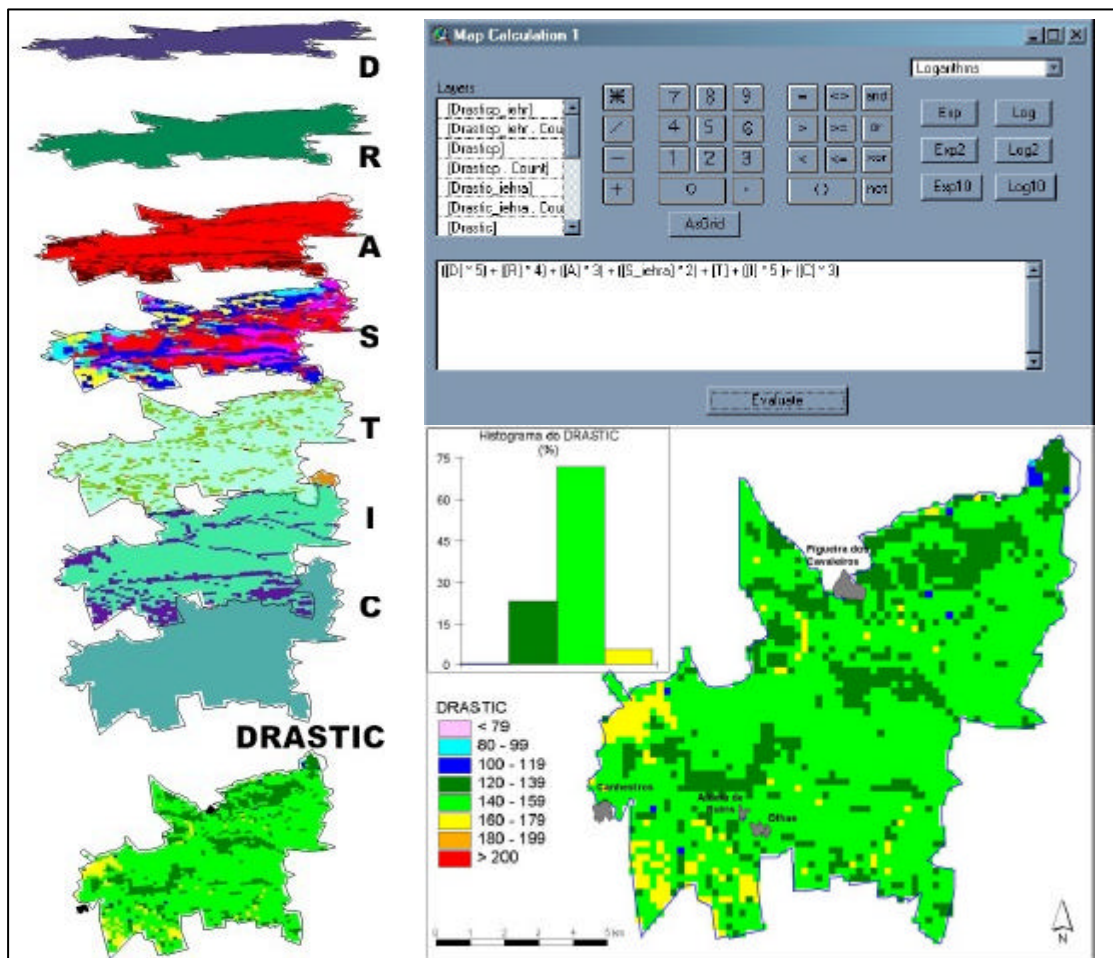


Figura 12 - Cálculo do DRASTIC a partir da soma ponderada de 7 níveis de informação.

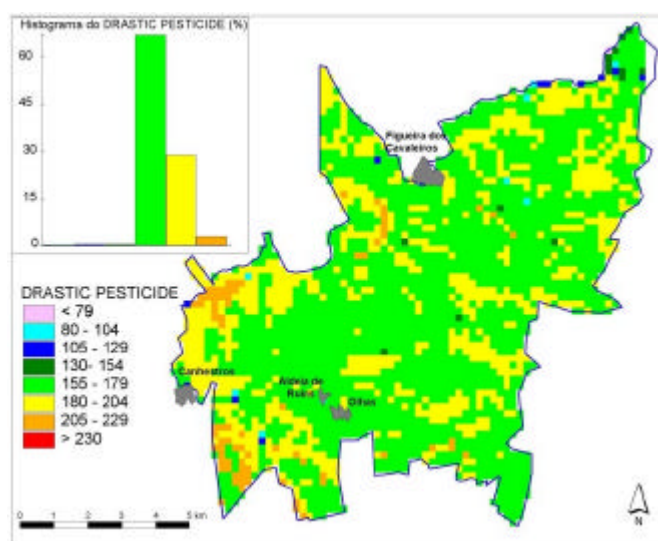


Figura 13 - Mapa de índice DRASTIC PESTICIDE e respectivo histograma.

### **3 CONCLUSÕES**

O sistema informático de apoio ao estudo hidrogeológico do Bloco de Rega de Canhestros permite a integração dos dados de monitorização numa Base de Dados, preservando assim a qualidade, integridade, organização e segurança dos mesmos. A acoplagem com o SIG facilita, pela semi-automatização dos processos, a criação de mapas temáticos, como também permite a manipulação e visualização destes dados, apoiando os técnicos de hidrogeologia nas operações de análise do sistema hidrogeológico e das interacções com as modificações do uso do solo.

### **4 AGRADECIMENTOS**

Os autores manifestam o seu agradecimento à EDIA, pela disponibilização de informação essencial ao sucesso dos trabalhos de investigação hidrogeológica actualmente em curso, bem como à Eng. Paula Alexandra Sarmiento, responsável pelo Núcleo de Qualidade Ambiental da EDIA, pelo apoio demonstrado.

### **5 BIBLIOGRAFIA**

#### **5.1 Artigos e monografias**

Aller L., Bennet T., Lehr J.H. & Petty R. J., 1987 - DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. U.S. EPA Report 600/2-85/018.

Lobo Ferreira J. P. C., Oliveira M. M., Moinante M. J. & Henriques J. H., 1997 – Cartografia automática da vulnerabilidade de aquíferos com base na aplicação do método DRASTIC. Relatório 60/97, GIAS, DH-LNEC, Lisboa.

Paralta E., Francés A. & Sarmiento P. A., 2002 - Caracterização hidrogeológica e avaliação da Vulnerabilidade à poluição agrícola do aquífero mio-pliocénico da região de Canhestros (Alentejo). 6º Congresso da Água, APRH, Porto, 17 pp.

Paralta, E., Francés, A. & Marques da Costa, A., 2003 - Participação do IGM na Caracterização Hidrogeológica e Implementação das Redes de Monitorização do Bloco de Rega de Canhestros (Sistema de Rega de Alqueva). Actas/CD do VI Congresso Nacional de Geologia, FCT/UNL, Caparica, Portugal, 4 pp.

#### **5.2 Bases cartográficas**

IGM, Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000, <http://www.igm.pt/>

IGeoE, Folhas 508 e 519 da Carta Militar de Portugal à escala 1:25000, <http://www.igeoe.pt/>

IDRHa, Folhas 508 e 519 da Carta de Solos à escala 1:25000, <http://www.idrha.min-agricultura.pt/>

### **5.3 Sites Internet dos Projectos**

IGM, 2001-2004 - <http://www.igm.pt/departam/hidro/projectos/canhestros/inicial.htm>

IGM, 1996-1999 - <http://www.igm.pt/departam/hidro/projectos/alentejo/inicial.htm>