



Balanço de massas e Análise de Componentes Principais no Estudo dos Recursos Hídricos da Bacia de Essaouira (Marrocos)

P. Galego Fernandes; P. Carreira; D. Nunes; M. Bahir

Objectivos

⇒ **Projecto GRICES – Cooperação Científica entre Portugal e Marrocos**

⇒ **Estudo Hidrogeológico, hidrogeoquímico e isotópico do sistema aquífero da bacia de Essaouira**

⇒ **Investigar a origem dos mecanismos de mineralização das águas.**

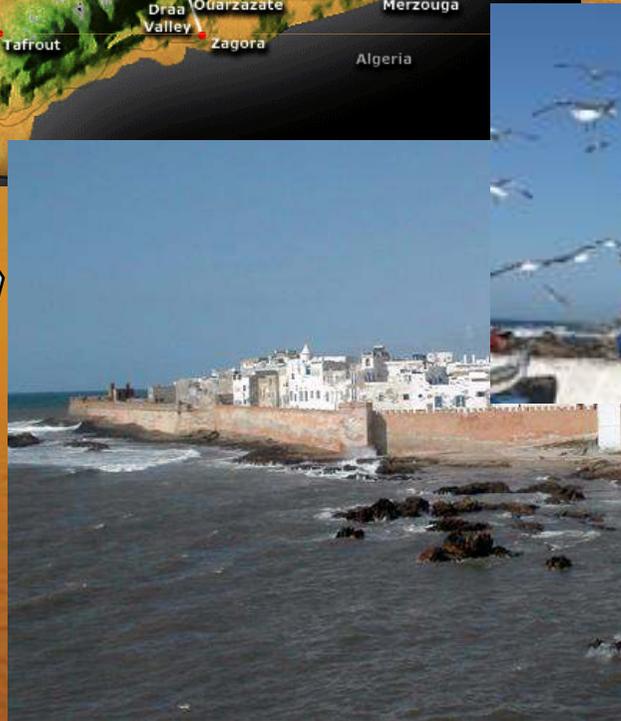
- **Dissolução água/rocha**

- **Contribuição de *oued***

⇒ **Identificação de mecanismos de poluição antrópica.**

⇒ **Elaboração de um modelo conceptual dos sistema aquífero da Bacia de Essaouira.**

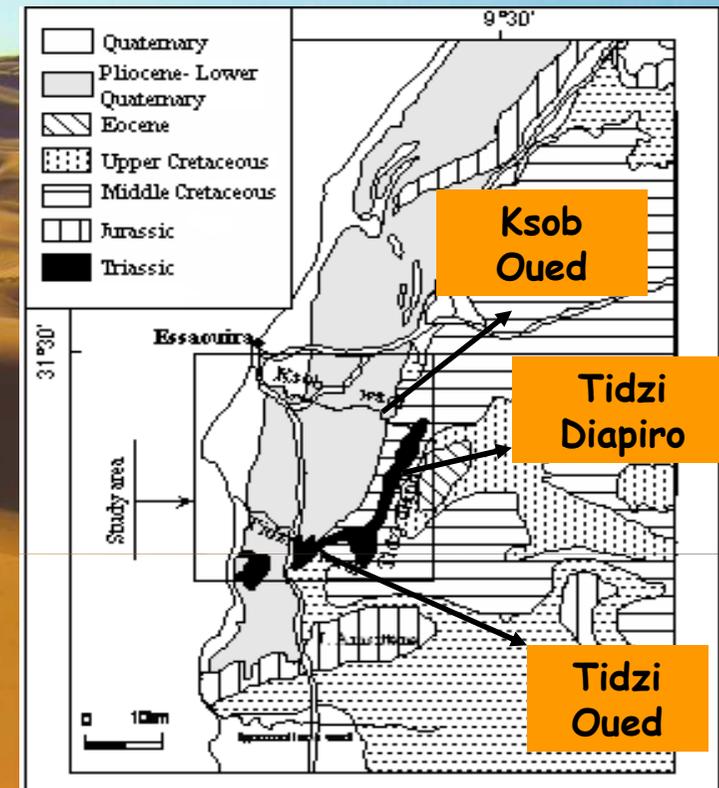
Localização



Geologia

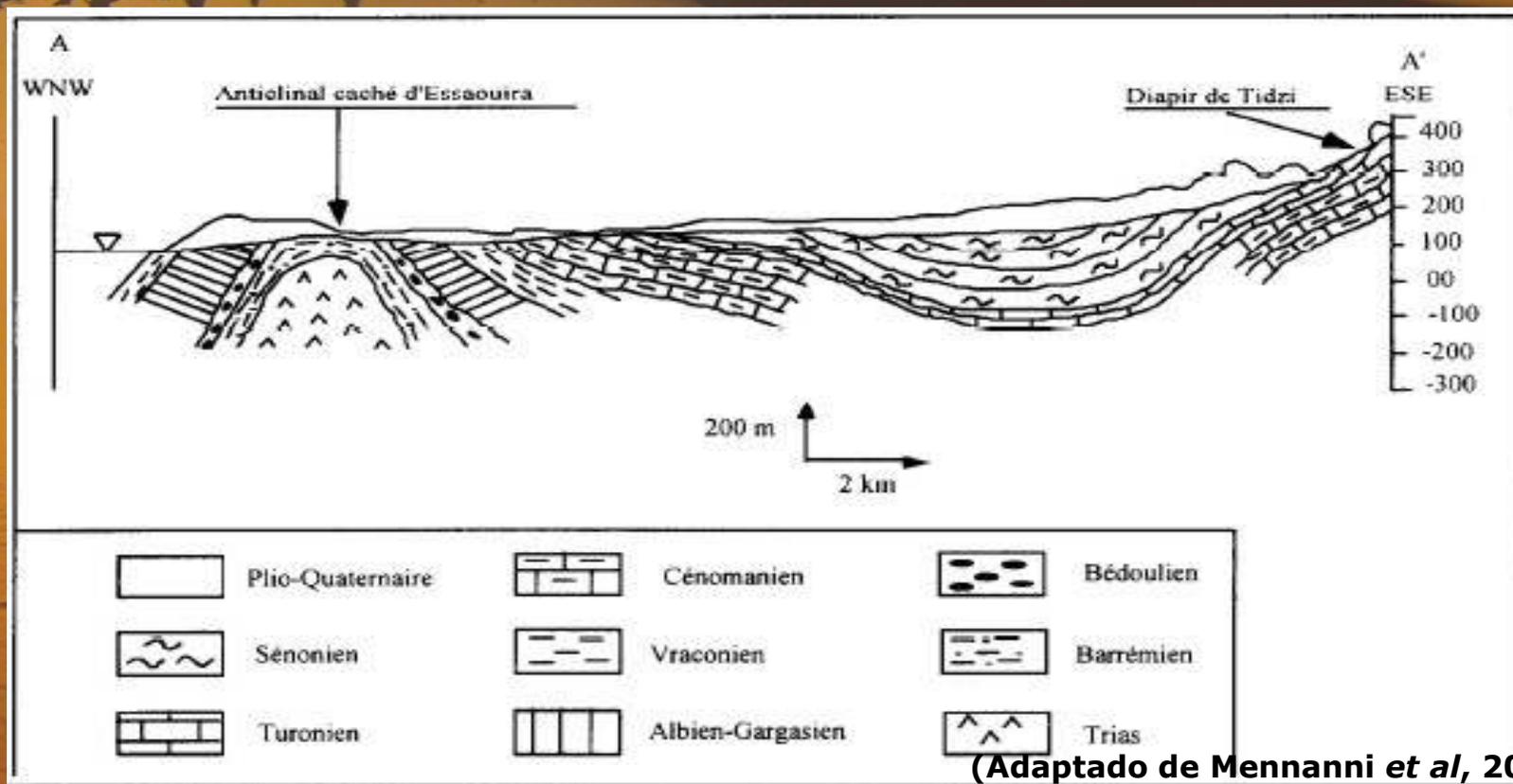
⇒ **Bacia de Essaouira** – Bacia sedimentar com uma área de aproximadamente 1200 km²; preenchida por materiais Mesozóicos e Cenozóicos, cobertos por terrenos superficiais Plio-Quaternários.

- A sequência sedimentar é iniciada pelos afloramentos Triássicos a E e S da região.
- O Jurássico é composto essencialmente por materiais carbonatados, os sedimentos margosos do Cretácio Inferior ao Cenomaniano dominam o Cretácico.
- O Cretácico Superior composto pelos calcários dolomíticos do Turoniano e margas com gesso do Senoniano, é coberto pelos depósitos detríticos de areias, arenitos e conglomerados do Plio-Quaternário.



Geologia

- A estrutura geológica desta bacia consiste num sinclinal limitado pelo diapir de Tidzi de idade Triássica.



(Adaptado de Mennani *et al*, 2001)

Metodologia

An



An

➤ R

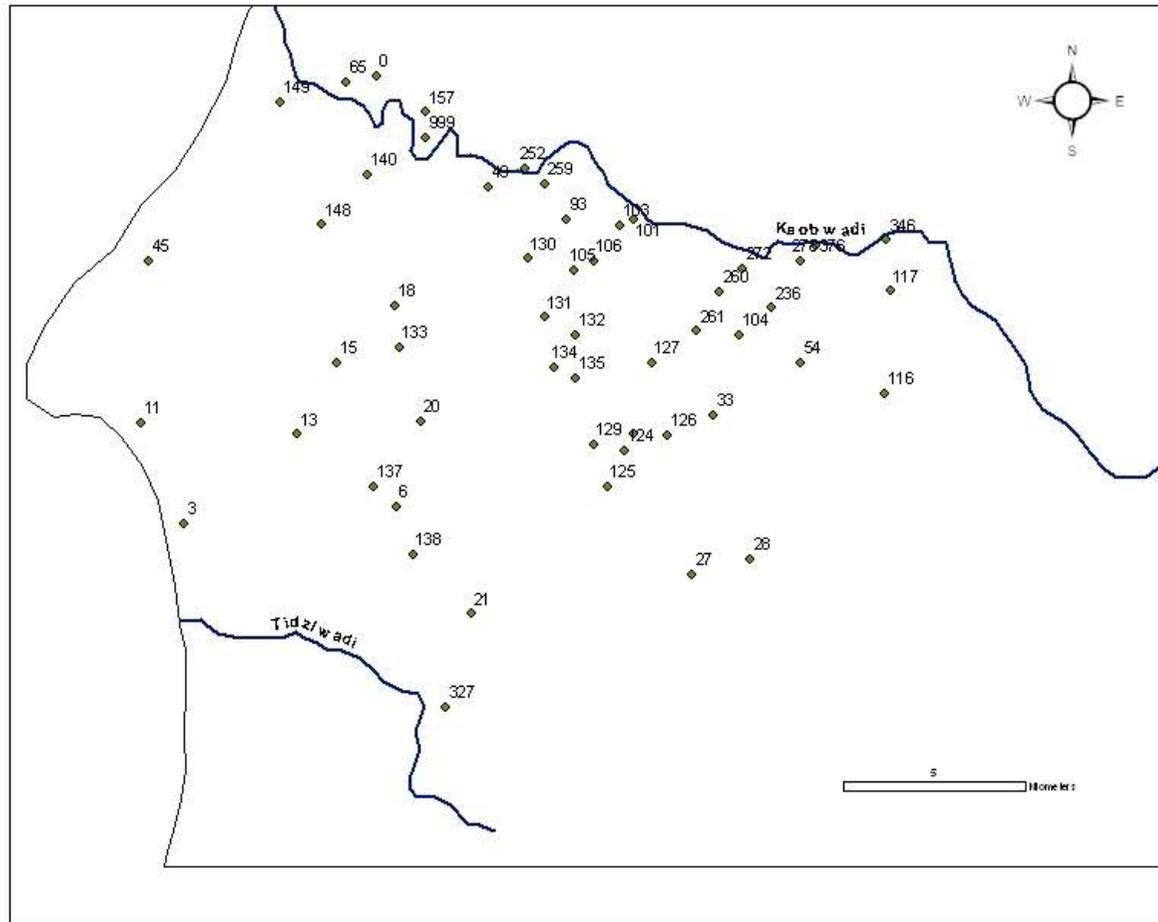
Tec

(ca

➤ D

isot

(δ^{21}





Modelo Hidrogeológico Conceptual

⇒ **Multi-aquífero composto por depósitos detríticos do Plio-Quaternário e calcários dolomíticos do Turoniano:**

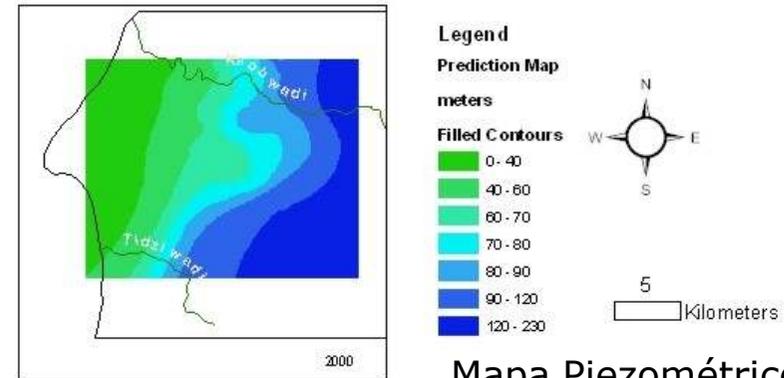
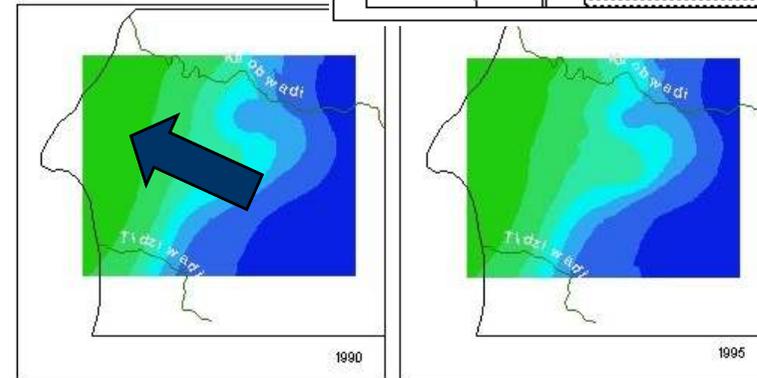
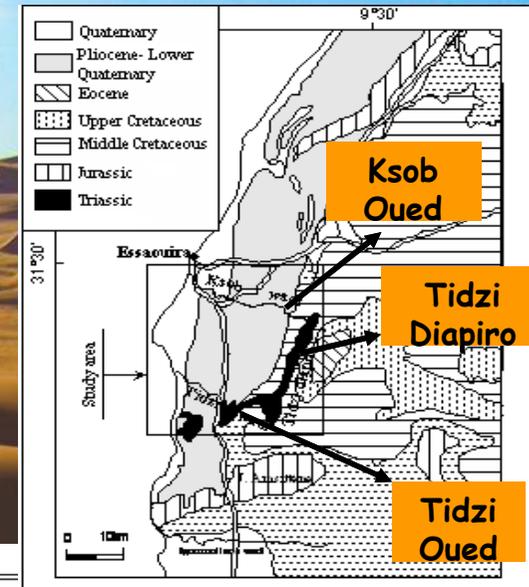
- **Plio-Quaternário - aquífero livre**

- **Turoniano confinado pelas margas do Senoniano e em contacto directo com o Plio-Quaternário nos limites da estrutura sinclinal.**

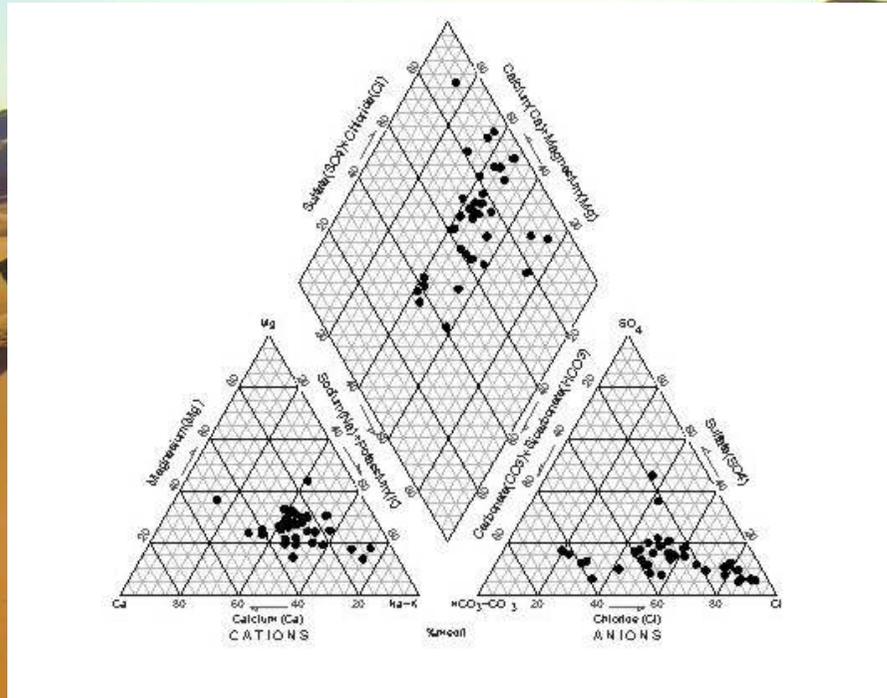
Modelo Hidrogeológico Conceptual

⇒ Os níveis piezométricos no sistema multi-aquífero de Essaouira apresentam-se estáveis ao longo do tempo (1990/2000).

O sentido de fluxo principal é SE-NW em direcção ao Oceano Atlântico, sendo área de recarga preferencial localizada nas proximidades do diapiro de Tidzi.



Modelo Hidrogeológico Conceptual



- Águas com fácies Na-Cl, resultado da recarga preferencial localizada no diapiro de Tidzi.

A dispersão presente na mineralização das águas subterrâneas do sistema aquífero de Essaouira são resultado de:

- Contribuição do *oued* na recarga do aquífero, conduzindo a uma diluição da mineralização das águas.
- Tempo residência permitindo maior/menor interação com o diapiro Tidzi.

Oued



Análise Componentes Principais

- **Caracterização do sistema através da identificação e quantificação das relações existentes entre as diversas variáveis, por meio de uma matriz de correlação e de uma normalização de todos os parâmetros envolvidos.**
- **O número inicial de variáveis transformado num número reduzido de factores, que explicam uma parte significativa da variância do sistema**
- **A ACP foi aplicada no dados físico-químicos das águas subterrâneas da bacia de Essaouira (35 cases e 8 variáveis) utilizando o software STATISTIC 6 code**
- **A aplicação deste método permitiu a identificação de 3 factores com eigenvalues superiores a 1.**

Análise Componentes Principais

- **Factor 1** (41 % variância total) correlação positiva entre Cl, Na, Ca e Mg. Materializa a interação água-rocha, nomeadamente a dissolução de minerais evaporíticos e/ou contribuição do diapiro de Tidzi na recarga do aquífero.

- **Factor 2** (19 % variância total) representa o teor em sulfatos ⇒ natural (dissolução de evaporitos) e/ou origem antropogénica (utilização de fertilizantes)

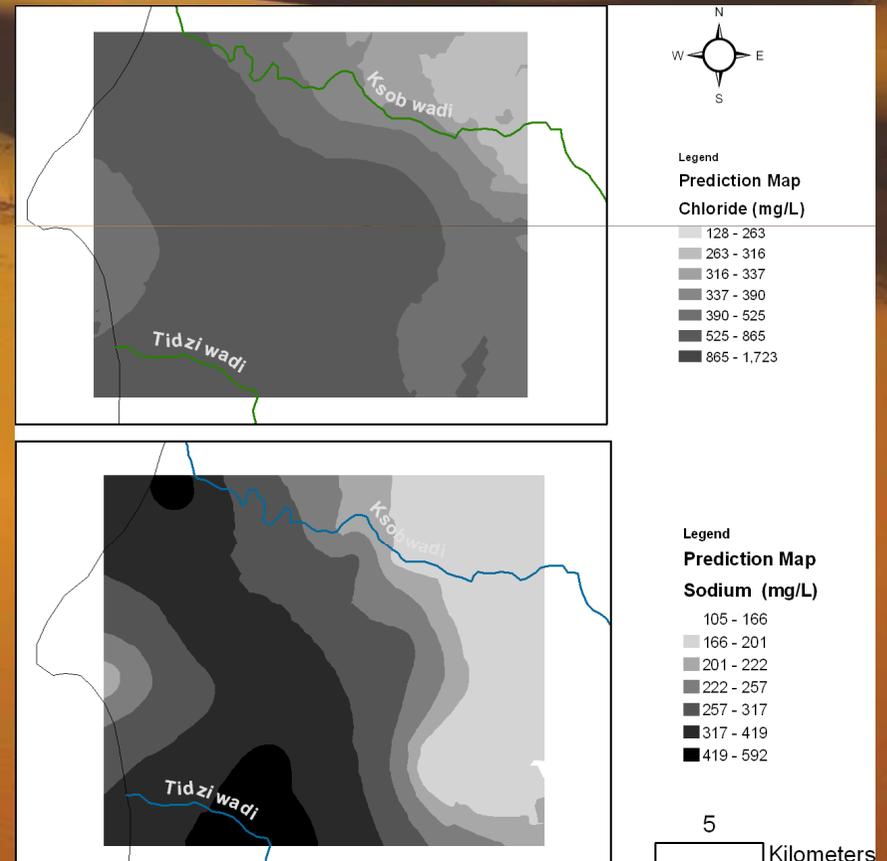
- **Factor 3** (17 % variância total) resulta da influência das rochas base do aquífero na mineralização das águas ⇒ elevado teor em potássio.

	Factor 1	Factor 2	Factor 3
HCO3	-0,05209	0,56697	-0,59120
Cl	0,91966	-0,24626	0,20629
NO3	0,51705	-0,59032	0,05719
SO4	0,10906	0,82363	0,23708
Na	0,83928	0,23035	0,16783
K	0,03055	0,24041	0,85555
Ca	0,82401	-0,14683	-0,02267
Mg	0,83775	0,09662	-0,43083

Caracterização Hidrogeoquímica

• **Amostras recolhidas após** as cheias de **Janeiro 1996**, apresentam um considerável incremento na mineralização em Na^+ e Cl^- .

• **1996** \Rightarrow concentrações em Na e Cl apresentam os menores valores na zona NE da região, imediatamente a S *Ksob wadi* \Rightarrow recarga do aquífero através do *Ksob wadi* e consequente diluição. As concentrações mais elevadas localizam-se na zona central da região estudada, como resultado da influência do diapiro de Tidzi na recarga do aquífero, que de acordo com o sentido de fluxo regional conduz a elevados teores em Na e Cl.



Influência antropogénica na contaminação do aquífero

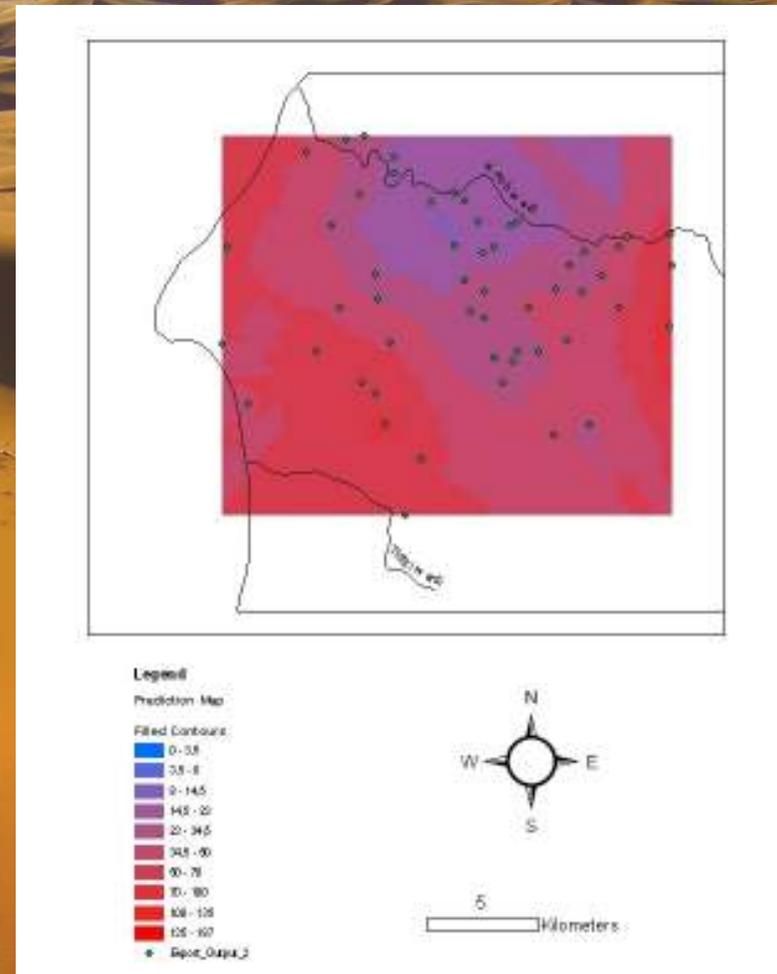
	1995					1996				
	Average	Standard Deviation	Max	Min	Samples	Average	Standard Deviation	Max	Min	Samples
EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)						1704.4	616.9	3180	824.0	23
Na (mg/l)	269.4	126.1	591.7	105.6	33	308.9	122.9	736.0	144.9	23
Mg (mg/l)	73.8	25.0	140.0	26.2	33	64.3	28.8	116.6	13.9	23
Ca (mg/l)	142.6	71.2	325.0	53.2	33	163.0	55.4	282.4	76.4	23
HCO₃ (mg/l)	376.9	231.6	958.0	134.0	33	284.3	78.9	478.2	162.3	23
SO₄ (mg/l)	153.0	84.2	463.1	30.2	33	167.9	68.0	332.2	78.6	23
Cl (mg/l)	506.7	364.3	1723	128.5	33	688.7	369.5	1654	227.2	23
NO₃ (mg/l)	53.2	47.6	187.0	1.4	33	91.5	81.2	295.8	1.6	23

1995 \Rightarrow 45 % das amostras de águas ultrapassam os 45 mg/L

1996 \Rightarrow 65 % das amostras de água ultrapassam os 45 mg/L

Influência antropogénica na contaminação do aquífero

• **Distribuição dos nitratos** evidencia a contribuição do *oued* na mineralização das águas subterrâneas. Por diluição as águas subterrâneas nas proximidades do rio assume concentrações reduzidas neste poluente.



Influência antropogénica na contaminação do aquífero

Principal origem dos nitratos está associada a:

- má construção dos furos,
- furos sem protecção ,
- falta de definição de perímetros de protecção,
- métodos tradicionais de extracção,
- acumulação de resíduos sólidos nas imediações das captações.

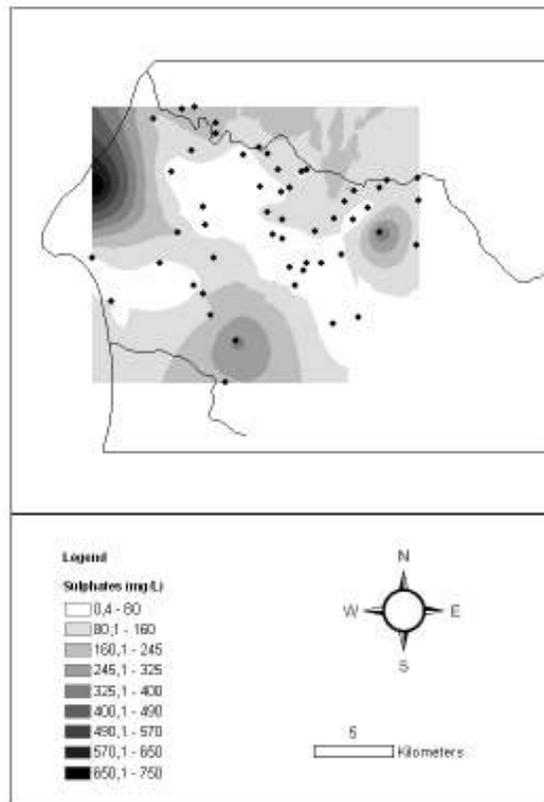
A inexistência de programas ambientais e de prevenção para a população ameaça seriamente os recursos hídricos e leva a uma qualidade precária dos mesmos.

Influência antropogénica na contaminação do aquífero

	HCO3	Cl	NO3	SO4	Na	K	Ca	Mg
HCO3	1,00	-0,38	-0,18	0,12	0,11	-0,15	-0,19	0,20
Cl	-0,38	1,00	0,52	-0,06	0,77	0,08	0,79	0,65
NO3	-0,18	0,52	1,00	-0,39	0,36	0,04	0,38	0,33
SO4	0,12	-0,06	-0,39	1,00	0,18	0,23	0,04	0,09
Na	0,11	0,77	0,36	0,18	1,00	0,26	0,46	0,59
K	-0,15	0,08	0,04	0,23	0,26	1,00	-0,06	-0,30
Ca	-0,19	0,79	0,38	0,04	0,46	-0,06	1,00	0,66
Mg	0,20	0,65	0,33	0,09	0,59	-0,30	0,66	1,00

Sulfatos ⇒ dissolução de evaporitos e do diapiro ou utilização de fertilizantes

Influência antropogénica na contaminação do aquífero



- **Distribuição dos sulfatos não evidencia uma origem para este parâmetro. Contaminação pontual responsável pelas mineralizações elevadas em algumas amostras.**

Modelação Geoquímica

- **Elevados teores em Na e Cl podem ser explicados pela dissolução de minerais como a halite e outros minerais evaporíticos.**

- **Índices de saturação calculados (S.I.) indicam que na maioria as amostras de água subterrânea se encontram em equilíbrio relativamente à calcite e fortemente subsaturadas em relação à halite.**

- **O progressivo aumento dos valores de CE e das concentrações em Cl e Na como resultado de um maior tempo de residência e consequentemente de uma maior interacção água-rocha conduzirá a índices de saturação dos minerais referidos mais elevados.**

Modelação Geoquímica

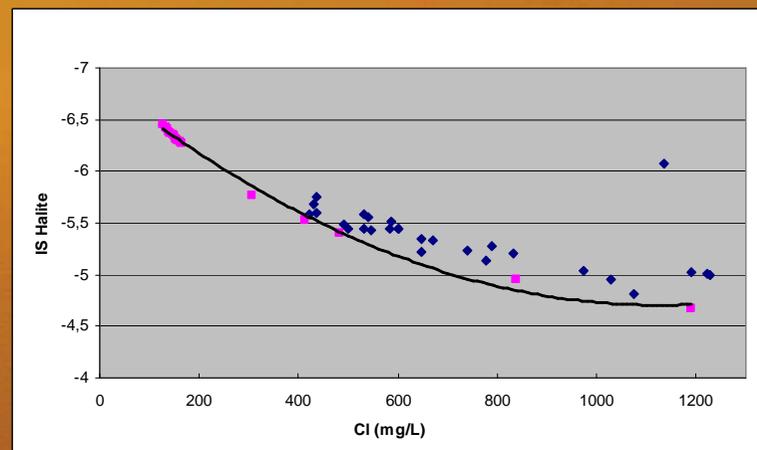
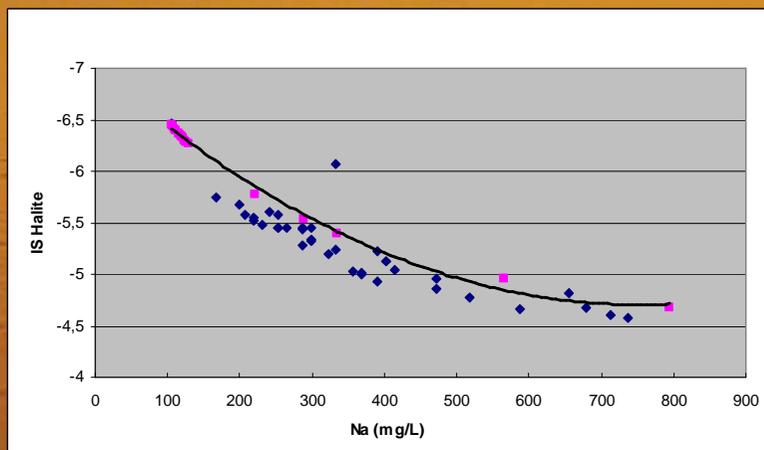
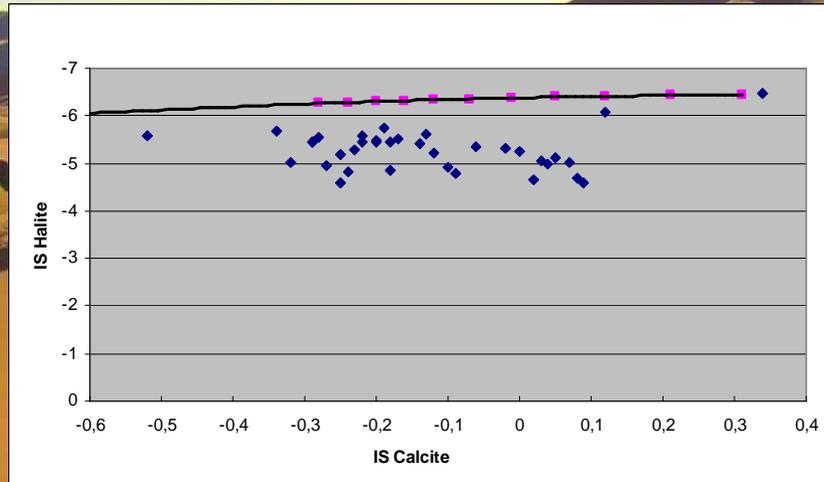
- Utilizando um **modelo de massa simples** através do software **PHREEQC** modelou-se um cenário com dissolução de halite em sistema aberto. Assumiu-se um sentido da reacção em que as águas superficiais evoluem para águas mais mineralizadas. Foi ainda considerado um percurso que se iniciaria numa água representada pela amostra 27, tendo sido avaliado o comportamento da água subterrânea com diferentes percentagens de dissolução de halite.

Reference	HCO ₃	CL	NO ₃	SO ₄	Na	K	Ca	Mg
27	370	128,5	66,7	30,2	105,58	1,595	64,5	37,4

Modelação Geoquímica

- Amostras encontram-se projectadas ao longo da linha que representa a evolução das águas em sistema aberto, indicando assim a importância da interacção água-rocha na mineralização das águas subterrâneas.

Os resultados obtidos corroboram assim a importância do diapiro Tidzi como área de recarga na assinatura química das águas.



Considerações Finais

- Apesar da ocorrência de níveis calcários e dolomíticos, todas as águas são Cloretadas Sódicas. Assinatura química deverá resultar da área de recarga preferencial se localizar no diapiro de Tidzi.
- Elevado coeficiente de correlação entre CE, Cl e Na, sugerindo uma forte contribuição destes elementos na carga química das águas subterrâneas. No entanto, ocultado pelo teor de Cl, as águas apresentam uma importante mineralização em HCO_3 como resultado da presença de componentes carbonatados na matriz do reservatório.

Considerações Finais

- O intervalo de valores para os diferentes parâmetros químicos é maioritariamente resultante da contribuição do *oued* na recarga do aquífero, conduzindo a uma diluição da mineralização das águas. Outra possível justificação deverá ser resultado do tempo de interacção com o diapiro que constitui esta bacia.
- Os resultados da modelação química (dissolução halite em sistema aberto) corrobora que a assinatura química das águas deverá ser resultado da área preferencial localizada no diapiro de Tidzi.

