

**Almeida, C. e M. Lourenço Silva (1991)**

**Aplicação de Análise Multivariada ao Estudo da  
Hidroquímica de Áreas Diapíricas Portuguesas**

Geolis, revista da Secção de Geologia Ec. e Aplicada, vol.  
V(1,2), p. 69-80.

## **APLICAÇÃO DE ANÁLISE MULTIVARIADA AO ESTUDO DA HIDROQUÍMICA DE ÁREAS DIAPIRICAS PORTUGUESAS**

C. Almeida [\*], M. Lourenço da Silva [\*]

### **RESUMO**

As águas da maioria das nascentes termais, relacionadas com estruturas diapíricas da Orla Ocidental, apresentam muitos aspectos comuns. A maioria provém da infiltração em maciços calcários e adquire grande parte das suas características específicas apenas na parte final do seu percurso subterrâneo.

A análise multivariada aplicada àquele tipo de águas ajuda a evidenciar as relações existentes entre as diferentes variáveis e, simultaneamente, permite esboçar um modelo dos fenómenos modificadores, responsáveis pelas diferenciações que se verificam.

### **ABSTRACT**

Most of the thermal waters related with the diapiric structures of the Western Border have many aspects in common. A large part of those waters comes from infiltration in limestone massifs and only acquire most of the specific chemical properties at the last stage of their deep path.

Multivariate analysis applied to that type of waters helps us to show the relationship between some of their properties and at the same time to sketch a model for the modifying phenomena which are responsible for their differentiation.

### **1. INTRODUÇÃO**

No presente trabalho, aplicam-se duas técnicas de análise multivariada (AF e AC) a um conjunto de análises de águas relacionadas com estruturas diapíricas da Estremadura e Beira-Litoral com o objectivo de compreender melhor os mecanismos responsáveis pelas diferentes fácies hidroquímicas que se podem observar naquele conjunto.

A aplicação de técnicas de análise multivariada, nomeadamente a análise factorial (AF) e análise de correspondências (AC) a dados hidroquímicos tem sido uma metodologia empregue por diversos autores pois oferece grandes vantagens em casos onde é necessário tratar grande número de atributos ou de indivíduos. Efectivamente, ao contrário de outras técnicas gráficas ou numéricas, o emprego da AF não é limitado pelo número de indivíduos a comparar nem pelo número de variáveis neles observadas. Outra vantagem, como é referido por

DALTON & UPCHURCH (1978), resulta da possibilidade de se poder incorporar, na análise, variáveis de diferentes tipos, tais como concentrações de espécies químicas, pH, temperatura, etc. Acresce, ainda, que na AF a variância das espécies presentes em pequenas concentrações não é abafada pela variância das espécies presentes em concentrações muito maiores.

No modelo que serve de base à análise factorial, admite-se a existência de um conjunto de factores de variação, mutuamente independentes, com os quais se relacionam as variáveis originais. Assim, a variância total observada resulta da soma das variâncias dos referidos factores acrescida das variâncias individuais de cada variável.

Como o número de factores é, em geral, muito menor do que o número de variáveis originais a interpretação dos dados fica simplificada quando

---

[\*] Departamento de Geologia da FCUL Centro de Geologia da Universidade de Lisboa (INIC). Bloco C2, 5º piso, Campo Grande, 1700 LISBOA.

se recorre à AF. Obviamente que, ao reduzir o número de variáveis, se perde uma parcela da Informação pois a variância que é reproduzida pelos factores seleccionados é inferior à variância inicial.

A AF pode ser encarada de dois modos diferentes: AF em modo R e AF em modo Q. A AF em modo R tem por objectivo investigar as inter-relações entre as variáveis, derivando o seu nome do facto de se estudarem as referidas inter-relações a partir da matriz de correlações. A AF em modo Q investiga as inter-relações entre indivíduos permitindo distinguir, num dado conjunto, tipos extremos, ou origens, identificar as composições desses tipos e calcular, para cada indivíduo, a proporção atribuível a cada origem.

A AC foi desenvolvida inicialmente para o tratamento de dados na escala nominal, dispostos sob a forma de tabelas de contingência. No entanto, a sua aplicação a variáveis contínuas tem sido feito por diversos autores.

Para efectuar a AC a matriz de dados é transformada de modo que as observações originais são substituídas por probabilidades condicionais o que implica a divisão de cada elemento de uma linha pela respectiva soma. Nesta transformação reside um dos aspectos mais difíceis de justificar teoricamente, pois, na referida soma, poderão ser incluídas variáveis expressas em unidades diferentes ou de magnitudes muito díspares. Apesar disso os utilizadores continuam a empregar este tipo de análise, dado que os resultados práticos obtidos, permitem superar, em parte, as insuficiências subjacentes. Assim, a transformação da matriz de dados é encarada com um processo de proporcionalização que permite que indivíduos e variáveis sejam dimensionados de forma equivalente quando se calculam os factores R e Q. Não admira, por isso, que os resultados finais se assemelhem, de algum modo, aos que são obtidos através da análise factorial simultânea modo R e modo Q.

Desta forma, quando se faz uma projecção nos planos factoriais, é possível ver-se, não só as proximidades entre os indivíduos, mas também a contribuição das variáveis para cada eixo. Normalmente, a proximidade entre um grupo e uma variável, ou grupo de variáveis, indica que o factor subjacente às mesmas actuou de maneira mais intensa no referido grupo. Isto, no entanto, nem sempre é verdadeiro.

Alguns autores, por exemplo HILL (1974), propõem métodos para trabalhar com variáveis contínuas de forma a torná-las apropriadas para serem tratadas pela AC. Um dos métodos propostos é o de classificar as observações em classes discretas e substituir os dados originais pelas contagens correspondentes a cada classe. No entanto, essa transformação faz-se com considerável perda de informação e os resultados acabam por ser muito semelhantes aos que se

obtem usando os dados brutos pelo que, em geral, não se faz a referida transformação.

De entre os exemplos de aplicação de técnicas de análise multivariada a dados de hidroquímica podem-se referir DALTON & UPCHURCH, 1978, BENAVENTE *et al.*, 1981, ALMEIDA, 1985, CANDELA & PAWLOWSKY, 1987, MARCOS & MOLINA, 1987, RUIZ *et al.*, 1987, USUNOFF & GUZMAN-GUZMAN, 1989, CARVALHO *et al.*, 1990, MARQUES DA SILVA, 1990, etc.

## 2. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

As principais áreas diapíricas portuguesas situam-se, a Norte do Tejo, na Bordadura Ocidental Portuguesa (fig. 1). Esta unidade morfoestrutural resulta do preenchimento duma fossa tectónica - Fossa Lusitânica - instalada no bordo oeste do Maciço Hespérico. Esta fossa está relacionada com esforços distensivos associados à abertura do Atlântico Central, possui orientação regional NE-SW e está delimitada por falhas normais, penetrativas ao nível do soco (RIBEIRO *et al.*, 1979).

As camadas evaporíticas que nela se depositaram durante o Hetangiano formam um complexo constituído por margas, argilas salíferas e gipsíferas avermelhadas, com intercalações de calcários dolomíticos.

Posteriormente depositaram-se calcários do Jurássico Médio e calcários e arenitos do Jurássico Superior. O espessamento das camadas supraevaporíticas e, consequentemente, o aumento de peso, provocou o deslocamento lateral dos sedimentos evaporíticos para a periferia da referida fossa, aflorando estes presentemente e, em geral, com forte inclinação. É frequente a ocorrência de intrusões de rochas básicas as quais parecem estar associadas às falhas que controlam a génese e a geometria das estruturas diapíricas.

A movimentação halocinética originou a formação de faixas evaporíticas alongadas segundo a direcção NNE-SSW onde estão situadas as nascentes estudadas neste trabalho.

Os calcários do Jurássico Médio e Superior formam alguns maciços relativamente importantes onde ocorre uma intensa carsificação. A infiltração que se processa nestes maciços alimenta algumas nascentes cársicas importantes e a maioria das nascentes termais situadas nos bordos das referidas estruturas diapíricas.

## 3. AMOSTRAGEM E ANÁLISE

A fim de se proceder à análise factorial foi elaborada uma matriz de dados (tabela I) com 27 indivíduos e 11 variáveis.

Os pontos de água 1 e 8 referem-se a nascentes ou captações localizadas nas Caldas da Rainha (Fig. 1). O furo JK-2, embora de características muito distintas dos restantes pontos, foi mantido na presente análise a título comparativo. O ponto de água Arnoia é uma

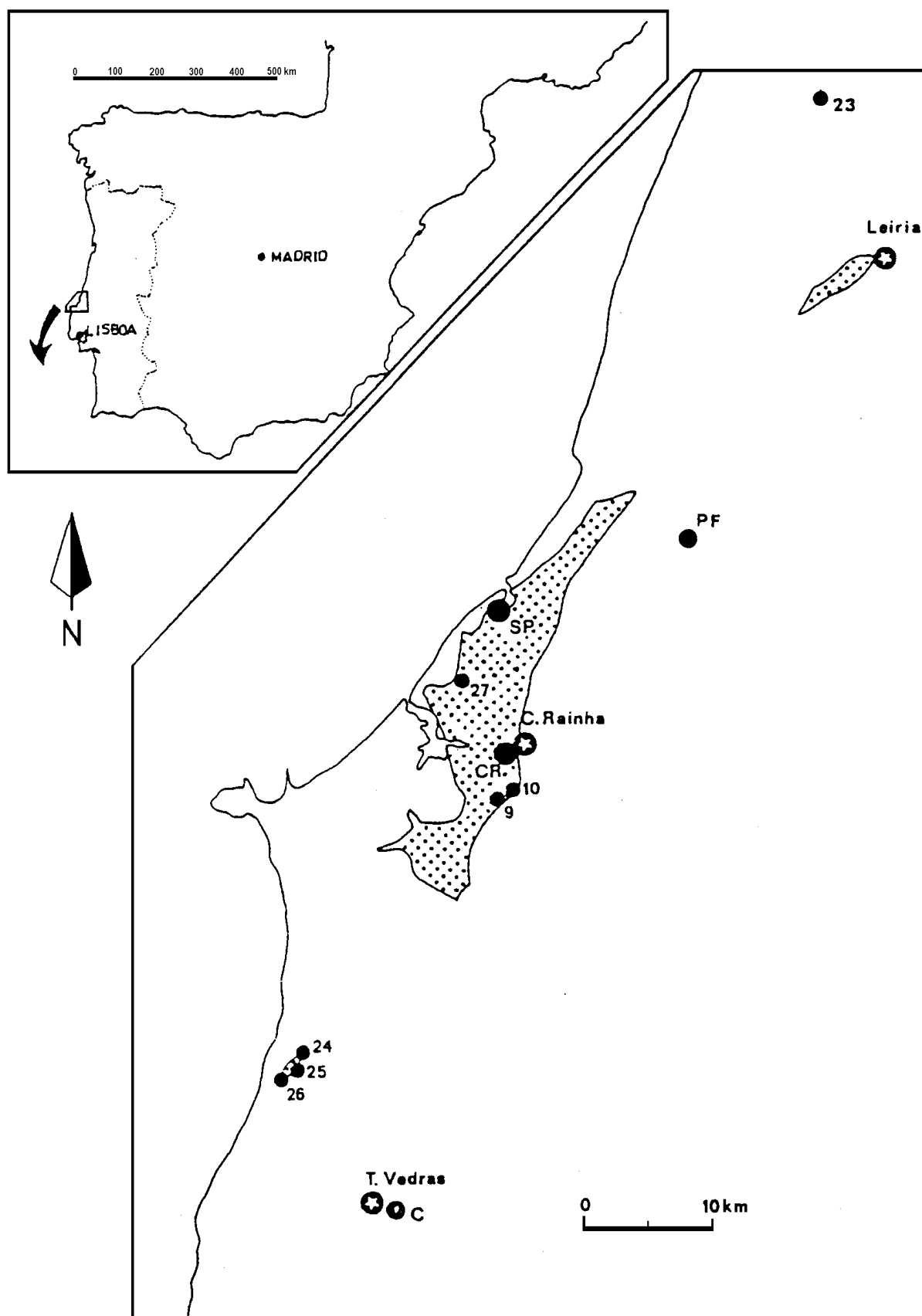


Fig. 1 – Localização da área estudada

situada perto da Quinta das Janelas (Óbidos).

Os pontos 16, 17, 19, 20 e 21 referem-se às nascentes e furos situados nas Termas dos Cucos (Torres Vedras). Os pontos 18 e 22 referem-se a uma nascente situada na margem do Rio Sizandro, perto daquelas termas e um poço situado perto da mesma.

Os pontos 24 a 26 localizam-se no diapiro do Vimeiro e referem-se a duas nascentes e uma captação (furo) usada para engarrafamento. de métodos analíticos.

Para o ponto 27 (Serra de Bouro) foi utilizada uma análise efectuada em 1915 por Charles Lepierre por não se dispôr de outra mais recente.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise Factorial

Para a AF modo Q seleccionaram-se os três

Tabela I

LOCALIZAÇÃO	REF <sup>a</sup>	TEMP.	pH	CO <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	Na	Ca	Mg
Piscina E.	1	33.5	8.87	53	316	594	994	662	274	57
Piscina H.	2	33.4	7.01	53	306	619	984	655	279	58
JK3	3	34.9	6.83	61	304	624	1010	651	269	80
FA	4	34.2	6.87	72	324	610	975	649	266	61
FB	5	34.6	6.81	62	317	614	999	666	277	58
JK2	6	22.4	6.90	83	471	133	131	87	148	37
Arco	7	33.0	6.96	43	275	589	981	647	264	58
Buvette	8	33.4	6.89	52	308	642	1055	680	290	60
Arnoia	9	27.7	6.85	48	372	427	936	621	215	46
Qta Janela	10	31.5	6.75	65	295	778	567	371	326	63
Salir N	11	20.0	6.85	86	423	167	828	530	159	46
SP (C)	12	20.0	6.84	74	418	160	810	520	169	32
SP (S)	13	20.4	6.88	86	417	171	759	494	163	27
Piedade	14	27.5	7.00	48	382	186	1009	671	144	31
Fervença	15	25.0	6.85	48	367	184	964	641	144	32
Cucos Q.	16	31.5	7.07	38	387	173	1451	941	161	41
Cucos F.	17	25.7	7.12	33	379	161	1077	646	150	34
Coxos	18	33.5	6.83	61	499	173	1171	661	174	41
Cucos M.	19	37.0	6.96	50	374	211	1579	970	156	40
Garagem	20	36.9	7.23	36	366	161	1595	1030	165	44
Cucos V.	21	37.3	7.12	44	377	192	1555	997	147	36
Coxos Poço	22	25.5	7.00	73	546	160	856	589	150	36
M. Real	23	18.0	7.10	12	121	1460	124	73	617	51
F. Frades	24	26.2	6.69	56	474	211	1508	866	175	95
F-5 (Vimeiro)	25	27.2	6.96	60	443	76	246	158	120	33
F. St <sup>a</sup> Isabel	26	25.8	6.88	66	449	81	246	165	117	35
S. Bouro	27	18.8	7.21	22	104	1935	386	295	634	113

Na elaboração da matriz de dados foram usados valores médios de análises efectuadas entre 1980 e 1982.

Algumas das espécies não foram determinadas com regularidade e por isso não são incluídas no presente estudo. Trata-se, em geral, de espécies presentes em concentrações reduzidas, pelo que não nos pareceu correcto completar os dados com análises anteriores visto que apresentam, muitas vezes, variações que podem resultar de mudança

primeiros factores, representando 99,96% da variância total, os quais foram submetidos à rotação VARIMAX. A projecção dos indivíduos no plano factorial I-II permitiu escolher os que iriam constituir os polos da rotação oblíqua, de acordo com o método proposto por IMBRIE (1963). Efectuada esta, os factores foram normalizados e utilizados para projectar os indivíduos num triângulo de vértices FI, FII, FIII (Fig. 2).

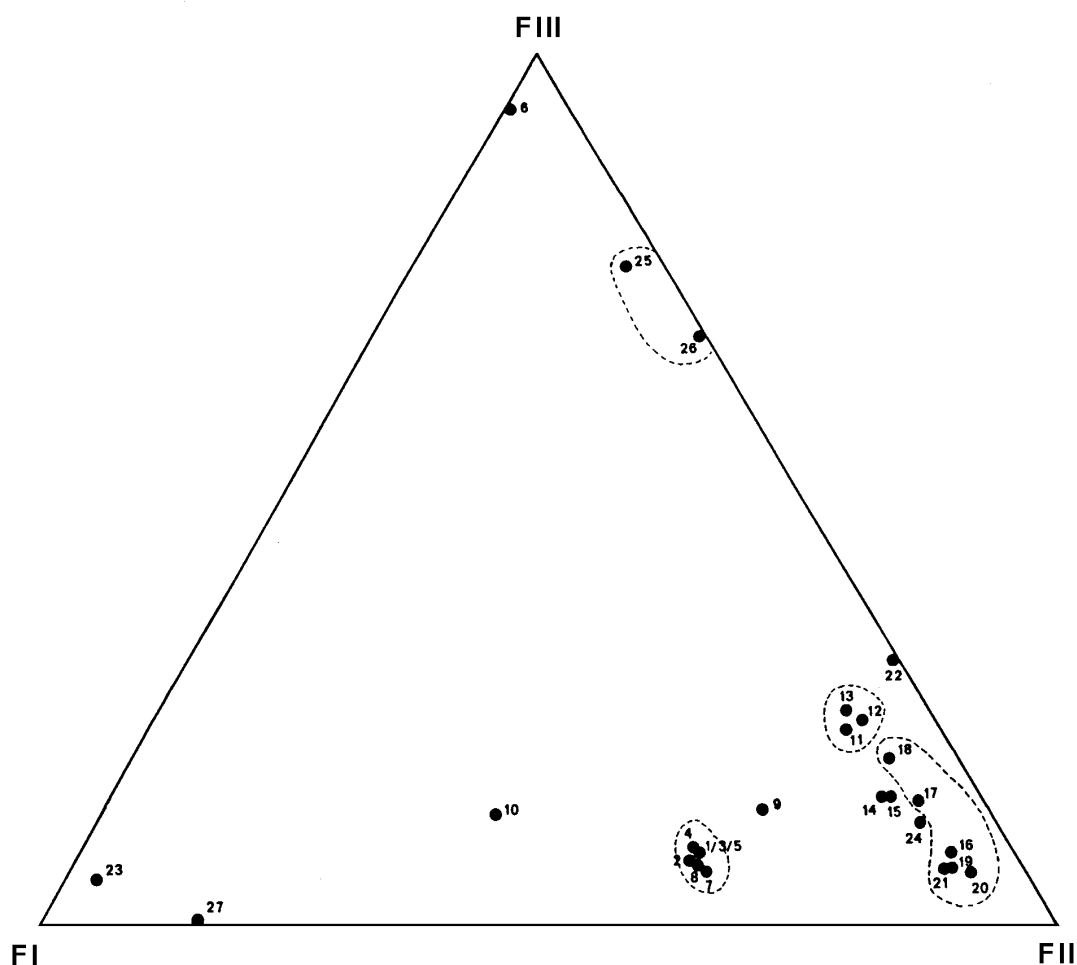


Fig. 2 - Projecção dos scores normalizados, referentes aos três primeiros factores.

Essa projecção permite verificar as relações entre os diferentes tipos de águas em presença. Assim, verifica-se a grande homogeneidade no grupo de águas das Caldas da Rainha (pontos 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8) e a semelhança entre os grupos de Piedade-Fervença (pontos 14 e 15, Fonte dos Frades (ponto 24) e de Cucos (pontos 16, 17, 19, 20 e 21). Arnoia (9) e Quinta das Janelas (10) embora geograficamente próximos ocupam posições muito distintas na projecção. As águas de Vimeiro (25) e Fonte Santa Isabel (26) aproximam-se da água do ponto JK2 (6) situado nas Caldas da Rainha. Finalmente, as Serra de Bouro (27) e Monte Real (23) destacam-se das restantes aproximando-se do vértice FII.

Tendo em conta o significado dos três factores (Fig. 3) é previsível que as variáveis bicarbonato, cloreto e sulfato sejam as que mais contribuem para a variância das águas. Com efeito, as projecções num diagrama triangular, usando aquelas variáveis, dispõem-se de forma semelhante à do gráfico anterior. Pode admitir-se que as composições observadas sejam o resultado da mistura de três tipos extremos: tipo bicarbonatado cálcico (água infiltrada nos maciços

calcários); cloretado sódico e sulfatado cálcico. Em geral, predomina a mistura dos dois primeiros tipos. O grupo Monte Real - Serra de Bouro é aquele que se apresenta mais afastado do primeiro tipo levando a admitir a possibilidade de mistura com águas não infiltradas em calcários. Para esclarecer esta hipótese calculou-se o teor de carbono inorgânico dissolvido (CID) e fez-se a projecção dos valores correspondentes às diferentes amostras. Foram também projectados outros dois pontos de água: um representativo de uma nascente cársica localizada na Serra dos Candeeiros e outro representativo de águas de formações detríticas cretácicas.

Este gráfico (Fig. 4) mostra que os pontos correspondentes a Monte Real e Serra de Bouro ocupam uma posição intermédia entre aqueles dois últimos o que parece confirmar a existência de mistura de águas infiltradas em terrenos carbonatados e detríticos.

As restantes águas têm todas um valor de  $\text{CO}_2$  superior ao da água da nascente cársica.

Assim, existem dois grupos fundamentais, que foram posteriormente modificados por dissolução

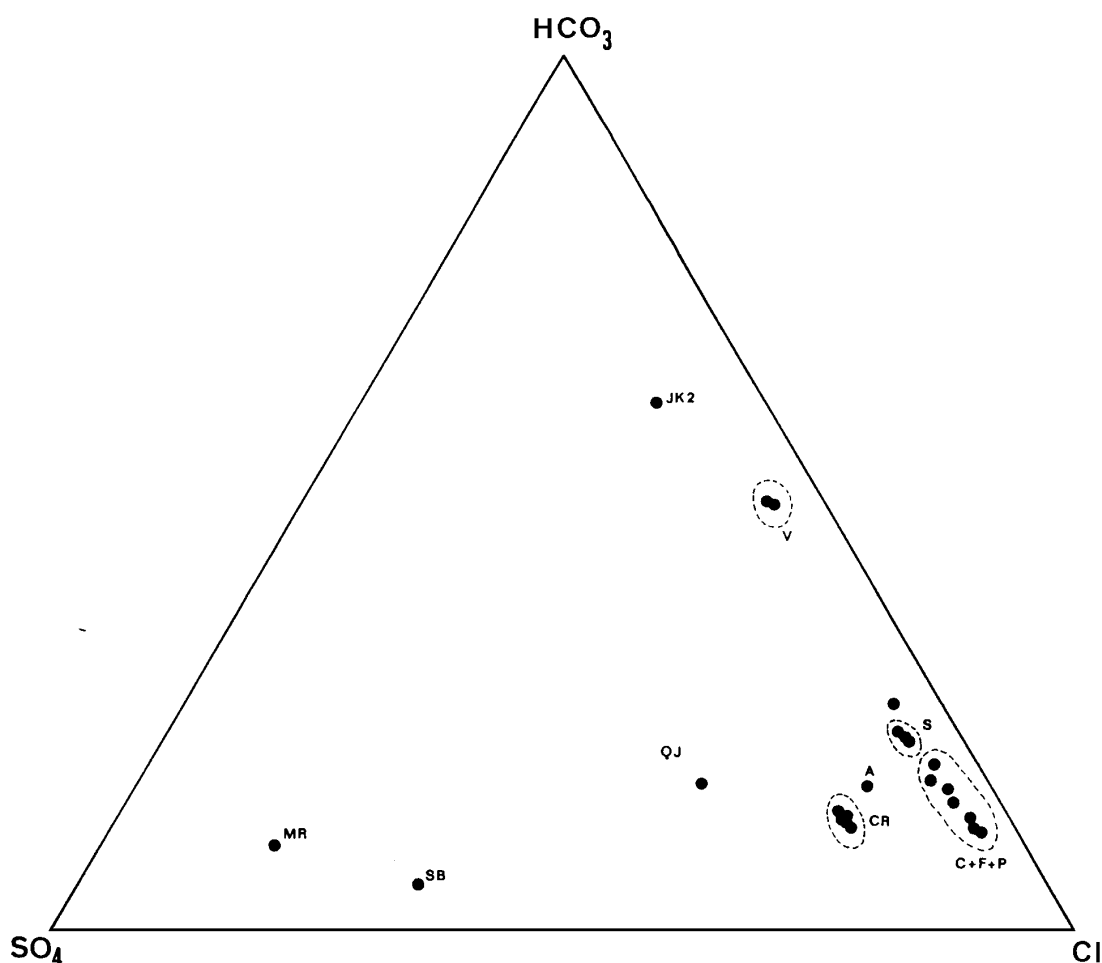


Fig. 3 – projecção dos indivíduos no triângulo de vértices Bicarbonato-Cloreto-Sulfato.

de rochas evaporíticas.

Como a AF se deve aplicar apenas a conjuntos homogêneos, sujeitos a processos semelhantes (JÖRESKOG *et al.*, 1976) aplicou-se a AF modo R apenas ao conjunto de águas com teor elevado de CID. Foram, portanto, excluídas desta análise as águas de Monte Real e Serra de Bouro.

Com esta nova matriz de dados foram calculadas as correlações entre variáveis.

Os vectores próprios e valores próprios extraídos da matriz de correlações (tabela II) permitiram calcular os factores.

Utilizaram-se os quatro primeiros factores visto que apenas a temperatura mostra uma variância residual superior ao erro padrão, estimado através da expressão  $1/\sqrt{n-1}$  (JÖRESKOG *et al.*, *op. cit.*). Assim, o quinto factor estaria ligado apenas àquela variável (factor único).

O factor I (Fig. 5) é dominado fundamentalmente pelos iões cálcio, sulfato e bicarbonato, opondo-se este último aos dois primeiros.

A temperatura e o ião magnésio têm também um peso significativo, embora muito inferior aos primeiros.

Este factor está relacionado com a dissolução de gesso e/ou anidrite. A oposição que se verifica entre o bicarbonato e as variáveis, relaciona-se com a precipitação de calcite devido à dissolução de gesso. De facto, o aumento do ião cálcio resultante dessa dissolução, provoca sobressaturação de calcite, podendo levar à precipitação daquele mineral.

O factor II é dominado, fundamentalmente, pelos iões cloreto e sódio. O  $\text{CO}_2$  e o pH estão representados neste factor, embora com peso reduzido. Uma interpretação desta associação pode ser a seguinte: a dissolução de cloreto de sódio (halite) faz baixar o grau de saturação de calcite, devido ao aumento da força iónica e, consequentemente, ao efeito inibidor, ou moderador, na precipitação daquele mineral. Esse efeito iria atenuar os fenómenos resultantes daquela precipitação que seriam a descida de pH e aumento de  $\text{CO}_2$ , daí resultando uma correlação positiva entre o pH e NaCl e negativa com o  $\text{CO}_2$ .

Na figura 6 encontram-se projectados os pontos representativos das amostras no plano factorial FI-FII.

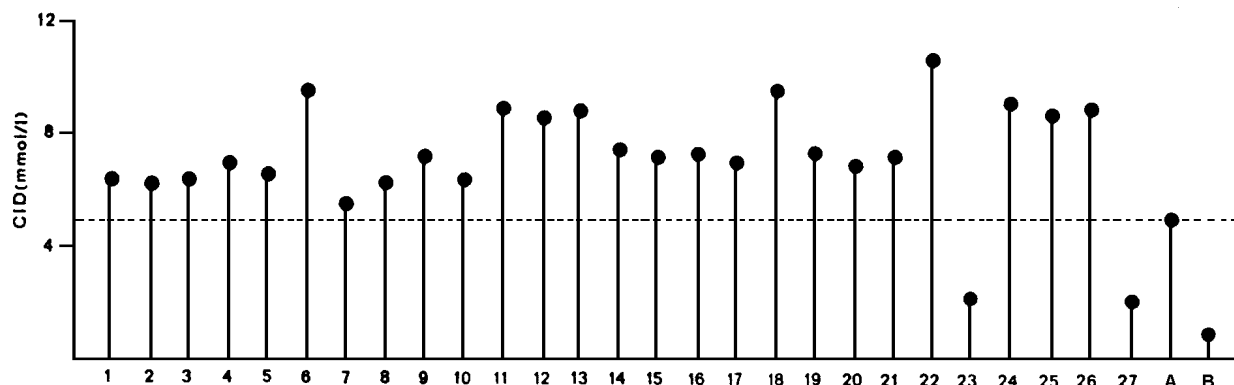


Fig. 4 – Valores do Carbono Inorgânico Dissolvido (CID) das amostras.  
A – Nascente Cársica, B – Furo em Arenitos.

O factor III (Fig. 6) evidencia uma oposição entre o pH e os iões cálcio e magnésio. Este factor deverá estar relacionado com o processo de dissolução de carbonatos e, portanto, com as condições iniciais verificadas durante a infiltração nos maciços calcários.

Tabela II  
Vectores próprios.

Tp	0.415	0.126	-0.123	0.177
pH	0.036	0.469	-0.468	0.135
CO <sub>2</sub>	-0.286	-0.365	0.197	0.769
Bic	-0.397	0.143	0.413	-0.001
Sulf	0.381	-0.360	-0.162	0.122
Cl	0.310	0.376	0.405	0.220
Na	0.326	0.375	0.334	0.290
Ca	0.376	-0.365	-0.105	0.169
Mg	0.314	-0.258	0.493	-0.428

Valores próprios	Percent.	Percent. acum.
3.977	44.2	44.2
2.850	31.7	75.9
1.074	11.9	87.8
0.391	4.3	92.1
0.361	4.0	96.1
0.228	2.5	98.7
0.108	1.2	99.9
0.010	0.1	100.0
0.003	0.0	100.0

O factor IV é dominado pela posição CO<sub>2</sub> e bicarbonato contra a temperatura e pH. A projecção deste factor contra o CID (Fig. 7) revela que, embora a correlação entre as duas variáveis não seja, em geral, muito elevada ( $r=0.442$ ) ela é significativa ao nível de  $\alpha=0.05$ .

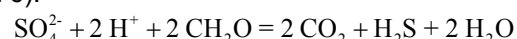
Daí que se possa interpretar este factor como estando relacionado com os fenómenos que originaram o aumento do CID.

Já atrás foi referido que o CID das águas em estudo é sempre superior ao das águas dos maciços calcários. Aceitando a hipótese da zona de carga das nascentes se situar nos referidos maciços, o enriquecimento em CID deverá ser atribuído a processos hidrogeoquímicos verificados durante o trajecto entre as referidas zonas de recarga e as zonas de emergência.

A hipótese mais provável é a dissolução de carbonatos, provocada por fornecimento de CO<sub>2</sub>. A entrada de CO<sub>2</sub>, no sistema, transmitiria nova agressividade à água, em relação à calcite, havendo por isso aumento do CID devido a duas origens.

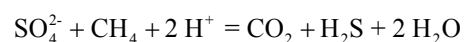
Para explicar a origem do CO<sub>2</sub> podem-se avançar várias hipóteses:

- redução de sulfatos por matéria orgânica, traduzida pela equação (STUMM & MORGAN, 1976):



Tendo em conta a concentração, nas águas estudadas, das espécies que intervêm nesta reacção verifica-se que a mesma é termodinamicamente possível. No entanto, a matéria orgânica presente nas águas de infiltração apenas chegaria para fornecer uma pequena quantidade de CO<sub>2</sub>.

É também possível, a redução de sulfatos quer pela matéria orgânica existente nas rochas atravessadas durante o percurso das águas quer por metano (DAZY *et al.*, 1982):



A dificuldade maior da hipótese de redução sulfatos reside na quantidade, relativamente modesta, de H<sub>2</sub>S presente nas águas. Considerando dados disponíveis sobre as espécies



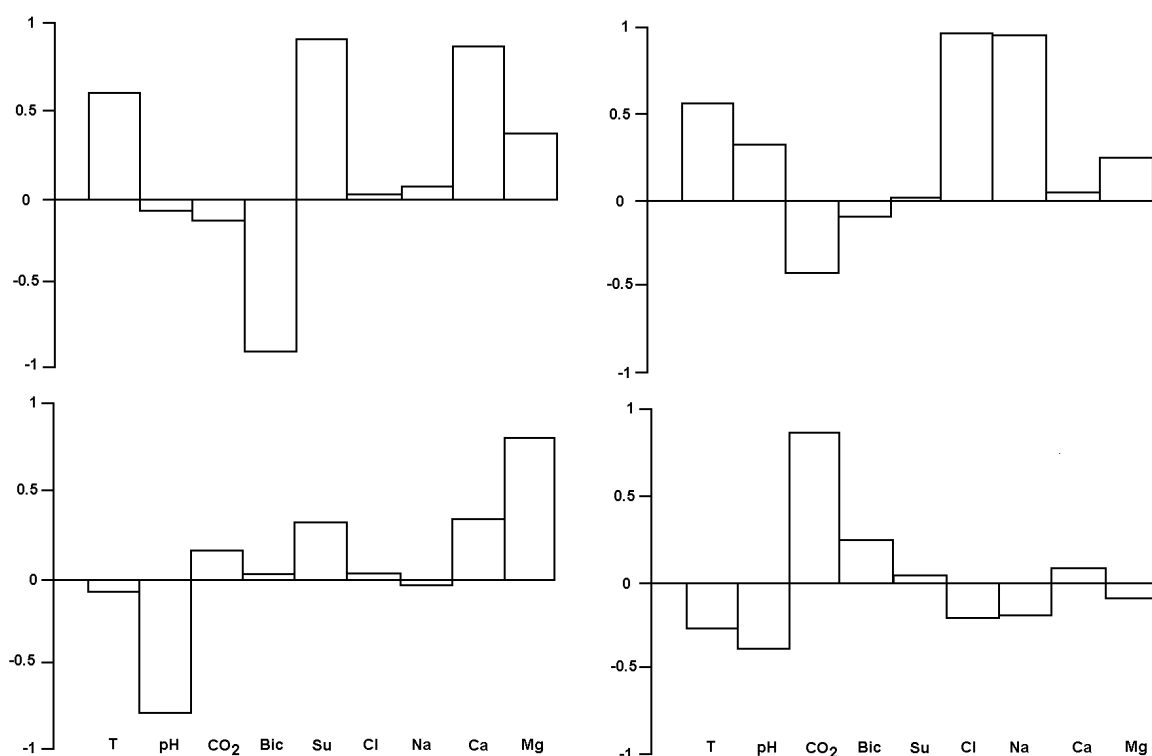


Fig. 5 – Loadings das variáveis nos 4 primeiros factores, modos R.

H<sub>2</sub>S e HS<sup>-</sup> pode concluir-se que apenas no grupo das Caldas da Rainha a redução de sulfatos, segundo as equações acima, seria quase suficiente para explicar o aumento de CID.

Conclui-se, portanto, que, embora este fenómeno possa contribuir para o aumento do CID, terá que existir ainda outra origem para o CO<sub>2</sub>, sendo a mais provável a incarbonização de lignitos. Esta dá-se segundo a reacção (FREEZE & CHERRY, 1979)



FOSTER (1950) atribui àquela origem o elevado teor de bicarbonato das águas das planícies costeiras americanas do Golfo do Atlântico. A autora verificou experimentalmente que a água posta em contacto com 5g de lignito e 1 g de calcite adquiria, passados catorze dias, 410 mg/L de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> e 124 mg/L de Ca<sup>2+</sup>.

Dado que se conhece a existência de lignitos, betume e mesmo, petróleo, nas formações carbonatadas jurássicas da região, pode admitir-se este processo responsável pelo aumento de CID verificado.

#### 4.2 Análise de Correspondências

Para realizar a AC utilizou-se a matriz completa, 27 indivíduos, tendo-se seleccionado os três primeiros factores os quais representam cerca de 99% (78.95% + 19.65% + 0.61%) da variância

total. Para efectuar, os cálculos recorreu-se ao programa CORSPOND (CARR, 1990).

Os factores correspondentes às variáveis e aos indivíduos constam da tabela III.

A projecção no plano factorial I, II mostra que as variáveis definem três polos principais (Fig. 8):

- um, centrado nas variáveis Cl/Na, que aparecem sobrepostos na projecção, o que resulta da sua elevada correlação;
- um centrado no sulfato;
- um terceiro relacionado com as variáveis bicarbonato, CO<sub>2</sub> e pH.

Em termos hidrogeoquímicos, podemos relacionar aquelas variáveis com os vários processos envolvidos;

- processos relacionados com a dissolução de carbonatos (Bicarbonato, CO<sub>2</sub>, pH);
- dissolução de gesso (e/ou anidrite);
- dissolução de sal-gema.

Os catiões Ca e Mg ocupam uma posição intermédia entre o polo definido pelo sulfato e o polo bicarbonato, CO<sub>2</sub>, pH. Isto resulta do facto de ambos os catiões serem influenciados quer pelo processos de dissolução de carbonatos quer pela dissolução de gesso. Esta última influencia o cálcio directamente e o magnésio indirectamente (desdolomitização). Este último processo será menos importante no controlo da concentração do Mg e por isso a sua projecção aparece mais

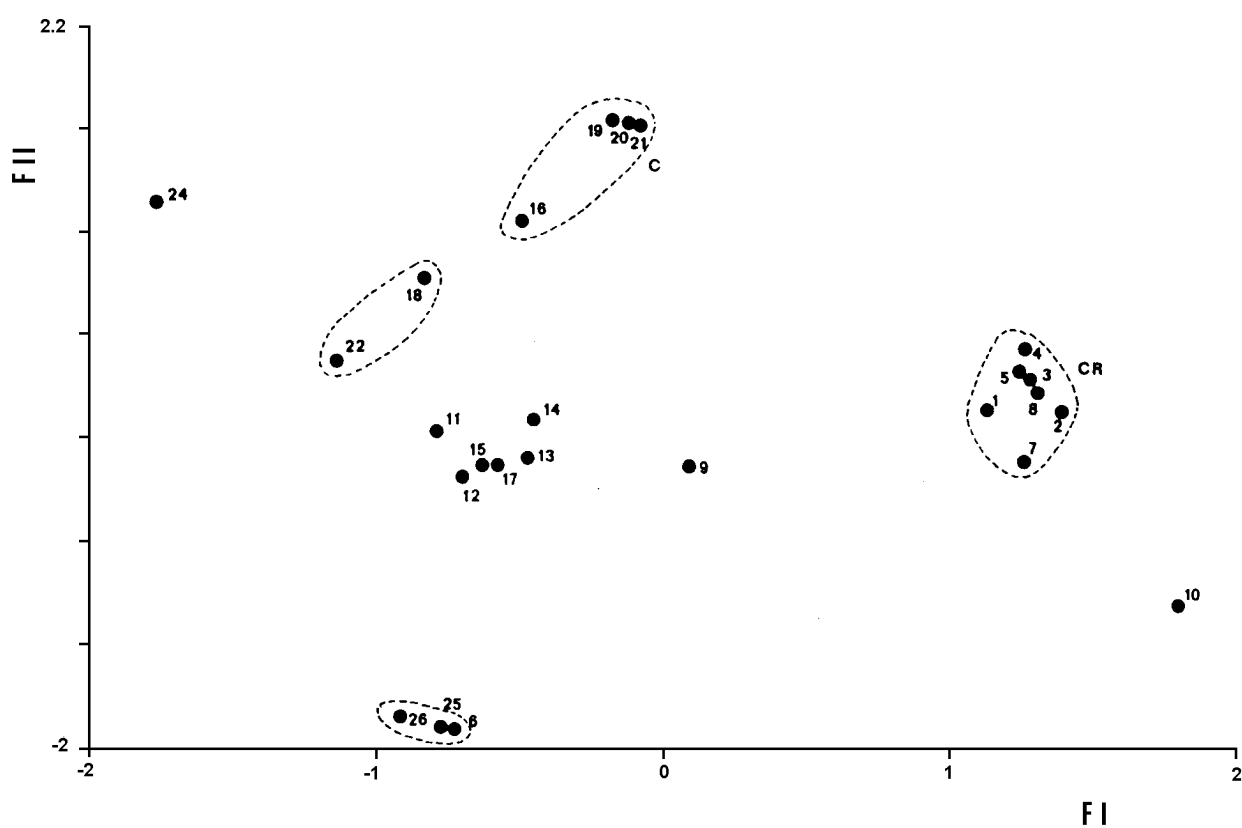


Fig. 6 – Projecção dos indivíduos no plano factorial F I – F II, modo R.

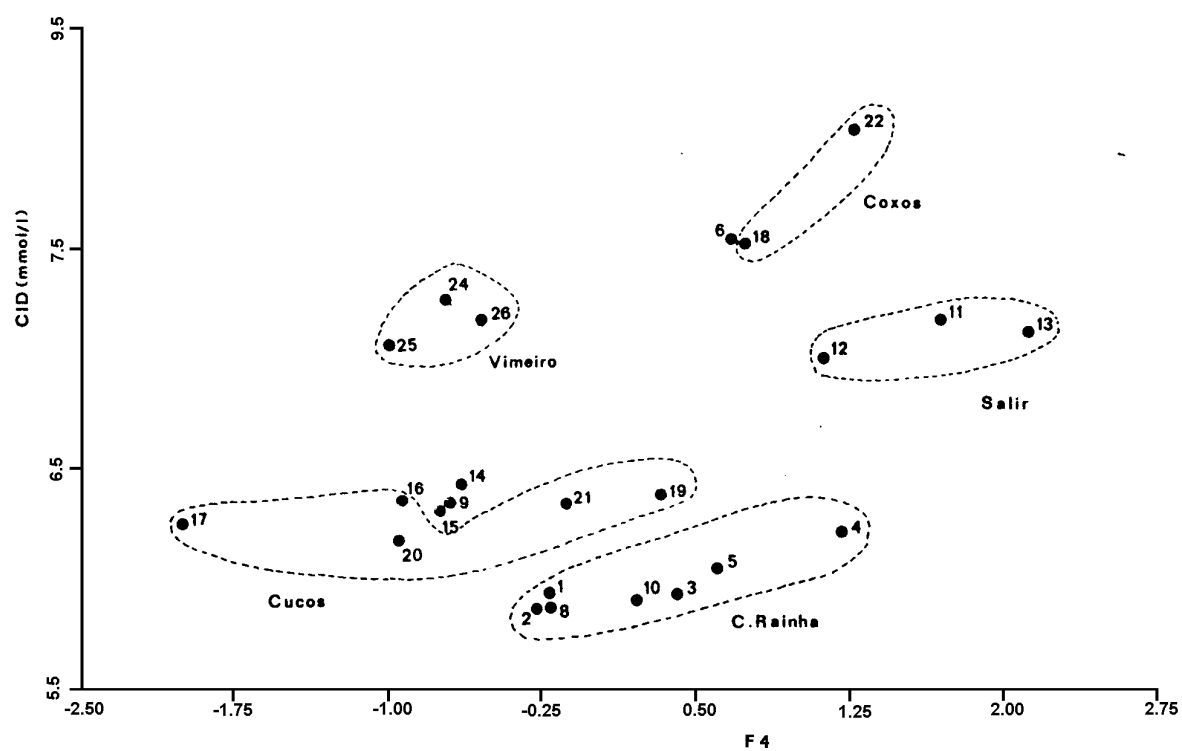


Fig 7 – Projecção dos indivíduos no plano CID – Factor I.

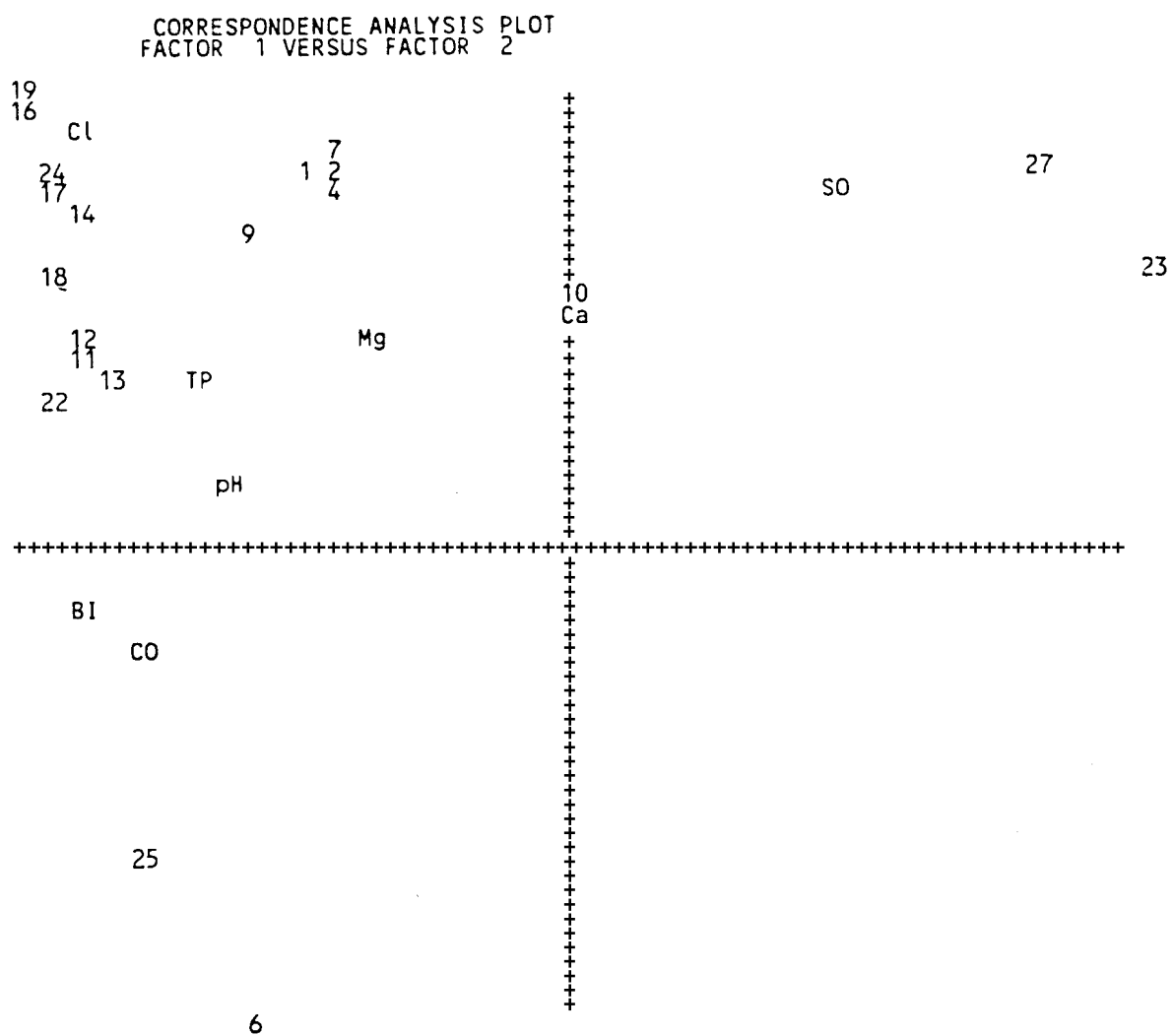


Fig. 8 – Projecção das variáveis e indivíduos no plano F I – F II da análise de correspondências.

próxima do polo bicarbonato.

A projecção dos pontos de água revela a existência de dois grupos com características diferentes da maioria, que se projecta quase toda, no quarto quadrante.

Tabela III  
Factores correspondentes às variáveis e indivíduos.

#### EIGENVALUE SUMMARY EIGENVALUE PERCENT VARIATION

FACTORS FOR ATTRIBUTES			
IDEN	FACTORS:	1 TO NUMFAC	
TP	-0.0858	-0.1900	-0.0043
pH	-0.0197	-0.3074	0.0416
CO	-0.1636	-0.5263	-0.1344
BI	-0.2414	-0.4628	0.0163
SO	0.8860	0.0644	-0.0160
Cl	-0.2721	0.1411	0.0038
Na	-0.2548	0.1368	-0.0056
Ca	0.4960	-0.1144	0.0703
Mg	0.1931	-0.1418	-0.1652

FACTORS FOR INDIVIDUALS			
IDEN	FACTORS:	1 TO NUMFAC	
1	0.1104	0.0713	-0.0126
2	0.1343	0.0759	-0.0159
3	0.1277	0.0765	-0.0346
4	0.1210	0.0456	-0.0475
5	0.1202	0.0653	-0.0255
6	0.0227	-1.0170	-0.0264
7	0.1216	0.1066	-0.0137
8	0.1287	0.0916	-0.0121
9	-0.0161	0.0145	0.0055
10	0.4791	-0.0798	-0.0393
11	-0.2422	-0.1430	-0.0397
12	-0.2415	-0.1361	0.0157
13	-0.2230	-0.1711	-0.0020
14	-0.2761	0.0288	0.0222
15	-0.2661	0.0237	0.0189
16	-0.3472	0.1588	0.0284
17	-0.2999	0.0522	0.0510
18	-0.2991	-0.0488	0.0337
19	-0.3346	0.1814	0.0086
20	-0.3687	0.2024	0.0262
21	-0.3525	0.1862	0.0162
22	-0.2833	-0.2015	0.0142
24	-0.3076	0.0737	-0.0430
25	-0.1801	-0.7785	0.0266
26	-0.1783	-0.7808	-0.0046
27	1.1837	0.0842	-0.0484
23	1.3881	-0.0443	0.1315

Os referidos grupos são constituídos pelos pontos 27, 23 (Serra de Bouro e Monte Real), que se relacionam com o polo sulfato e 25/26, 6 (F5, F. Stª Isabel e JK2) que se relacionam com o polo bicarbonato.

A composição das águas do primeiro grupo seria influenciada pela dissolução de gesso. As águas do segundo grupo correspondem ao tipo menos afectado pela dissolução de evaporitos, logo mais próxima da composição característica de aquíferos carbonatados.

As restantes águas aparecem, em geral, agrupadas de acordo com a proximidade

geográfica da emergência, com algumas excepções. As águas do grupo das Caldas da Rainha definem um conjunto muito homogéneo, o grupo dos Cucos alinha-se segundo uma mancha que se estende entre os polos Cl/Na e bicarbonato, o que indica uma série evolutiva indo desde o tipo menos modificado, cuja composição se aproxima do grupo dos Cucos e pontos 9 e 10 (Arnoia e Quinta da Janela).

Algumas amostras, apesar da proximidade geográfica da ocorrência, apresentam composições distintas como, por exemplo, o ponto 24 (Fonte Frades) cuja composição se aproxima do grupo dos Cucos e pontos 9 e 10 (Arnoia e Quinta da Janela).

## 5. CONCLUSÕES

A análise factorial em modo Q permitiu destacar a existência de dois grandes grupos de águas: as que possuem CID elevado, correspondente às que provêm da infiltração em maciços calcários e as que têm baixo teor em CID, que deverão resultar da mistura de águas do primeiro tipo com outras infiltradas, provavelmente, em arenitos.

A AF modo R aplicada apenas ao primeiro grupo mostra que os factores mais importantes de diferenciação se relacionam com a dissolução de gesso (primeiro factor) e de sal gema (segundo factor).

A estes dois factores, que correspondem a modificações sofridas na fase final do percurso das águas, seguem-se em importância outros dois que se interpretam com estando relacionados com as condições iniciais de aquisição de sais e com modificações sofridas, em profundidade, devido à presença de substâncias orgânicas responsáveis pelo acentuado aumento de CID.

A AC mostra a existência de três processos fundamentais: um, nas variáveis Cl/Na, atribuível à dissolução de sal-gema; um centrado no sulfato, relacionado com a dissolução de gesso e um terceiro relacionado com os processos ocorrentes durante a infiltração, centrado nas variáveis bicarbonato, CO<sub>2</sub> e pH.

As amostras formam três grupos principais, diferenciados pela intensidade de actuação dos três processos referidos. Assim, um grupo (Monte Real e Serra de Bouro) seria influenciado fundamentalmente pela dissolução de gesso. As águas do segundo grupo (JK2, F5, Stª Isabel) correspondem ao tipo menos afectado pela dissolução de evaporitos, logo mais próximo da composição característica de aquíferos carbonatados. As restantes águas aparecem, em geral, agrupadas de acordo com a proximidade geográfica da emergência, destacando-se o grupo das Caldas da Rainha, pela sua homogeneidade e o grupo dos Cucos representado por vários termos de uma série evolutiva.

## BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, C. (1985) - Hidrogeologia do Algarve Central. Dissertação para Obtenção do grau de Doutor em Geologia, Departamento de Geologia da FCUL, Lisboa, 333 pp.
- BENAVENTE, J., ALMEIDA, C., CASTILLO, A., SILVA, M.O. (1983) - Algunos Ejemplos de Aplicación del Análisis Factorial al Tratamiento de Datos Hidroquímicos. III Simpósio de Hidrogeologia, v. IV, Madrid, p. 297-309.
- CANDELA, L., PAWLOWSKY, V. (1987) - Análisis Estadístico de los Datos Hidroquímicos del Acuífero de Carme - Capellades - Sant Quinti (Barcelona). IV Simpósio de Hidrogeologia, Palma de Mallorca, p. 463-475.
- CARR, J. (1990) - CORSPOND: A Portable Fortran-77 Program for Correspondence Analysis. *Computers & Geosciences*, v. 16(3), p. 298-307.
- CARVALHO, M. R., CRUZ, J. V., ALMEIDA, C., SILVA, M. O. (1990) - Hidrogeoquímica das Águas dos Granitos Hercínicos das Beiras. *Geolis*, v. IV (1,2) p. 229-248.
- DALTON, M. G., UPCHURCH, S. B. (1978) - Interpretation of Hydrochemical Facies by Factor Analysis. *Ground Water*, v. 16(4), p. 228-233.
- DAZY, J., GRILLOT, J. C. (1981) - Le Thermomineralism Péri-Alpin: Exemple de la Region Savoyarde (France). *Révue de Géologie Dynamique et de Géographie Physique*, v. 23(4), p. 319-328.
- FOSTER, M.D. (1950) - The Origin of High Sodium Bicarbonate Waters in the Atlantic and Gulf Coastal Plains. *Geochim. and Cosm. Acta*, v.1, p. 33-48.
- FREEZE, R. A., CHERRY, J. (1979)- Groundwater. Prentice-Hall Inc., 604 pp.
- HILL, M. O. (1974) - Correspondence Analysis: a Neglected Multivariate Method. Jour. Royal Stat. Soc., Ser. C. Applied Stat., v. 23(3), p. 340-354.
- IMBRIE, J. (1963) - Factor and Vector Analysis Programs for Analyzing Geologic Data. U. S. Office of Naval Research. Tec. Rep. 6, 83 pp.
- JÖRESKOG, J. G., KLOVAN, J. E., REYMENT, R. A. (1976) - Geological Factor Analysis. Elsevier Sc. Pub. Co., 178 pp.
- MARCOS, L. A., MOLINA, M. A. (1987) - Aplicación del Análisis Factorial al Estudio Hidroquímico de los Acuíferos de los Alrededores de Andújar (Jaén). IV Simposio de Hidrogeologia, Palma de Mallorca, p. 857-868.
- MARQUES DA SILVA, M. A. (1990) - Hidrogeologia del Sistema Multiacuífero Cretácico del Bajo Vouga - Aveiro (Portugal). Tesis Doctoral, Univ. Barcelona, 436 pp.
- RIBEIRO, A., ANTUNES, M. T., FERREIRA, M. P., ROCHA, R. B., SOARES, A. F., ZBYSZEWSKI, G., ALMEIDA, F. M., CARVALHO, D., MONTEIRO, J. M. (1979) - Introduction à la Géologie Générale du Portugal. Serv. Geol. de Portugal, 114 pp., Lisboa.
- RUIZ, F., GOMIS, V., BLASCO, P., GOMEZ, A. (1987) - Aplicación del Análisis Discriminante y Análisis Canónico de Poblaciones al Estudio Hidroquímico del Acuífero "Cuaternario de Jávea". IV Simposio de Hidrogeologia, Palma de Mallorca, p. 869-882.
- STUMM, W., MORGAN, J. (1970) - Aquatic Chemistry. Wiley- Interscience, 583 pp.
- USUNOFF, E. J., GUZMAN-GUZMAN, A. (1989) - Multivariate Analysis in Hydrochemistry: an Example of the use of Factor and Correspondence Analysis. *Ground Water*, v. 27(1), p. 27-34.