

ANÁLISE ESTATÍSTICA APLICADA EM AMOSTRAS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NO MUNICÍPIO DE CAUCAIA

Maria Aparecida Belém Fernandes^{1a}; Maria Marlúcia Freitas Santiago^{1b}; Josué Mendes Filho^{1c};
Carla Maria Salgado Vidal Silva^{1d}; Horst Frischkorn² & José Ossian Gadelha de Lima³

Resumo – Análise fatorial R-modal foi utilizada em um conjunto de 47 amostras de água subterrânea de poços, localizados no município de Caucaia – Ce, em três condições hidrogeológicas diferentes: Dunas, Formação Barreiras e Complexo Gnáissico-Migmatítico. Este tratamento estatístico permitiu identificar processos responsáveis pela presença dos íons nas águas como contribuições dos aerossóis marinhos, da dissolução de calcários, da oxidação de pirita e da contaminação com nitrato de origem orgânica.

Abstract – R-mode factor analysis was used in a set of 47 samples of groundwater from wells located in the township of Caucaia – Ce, in three different hydrogeologic conditions: Dunes, Barreiras Formation and Gneiss Migmatitic Complex. This statistical treatment allowed to identify processes responsible for the presence of ions in waters like contributions from marine aerosols, dissolution of calcareous rock, pyrite oxidation and contamination through organic nitrate.

Palavras-Chave - Análise fatorial R-modal, águas subterrâneas.

¹Departamento de Física da UFC, Caixa Postal 6030, Cep. 60455-760, Tel.: (0xx) 85 3366.9913, Fax: (0xx) 85 3366.9450; e-mail: (a) maria@fisica.ufc.br, (b) marlucia@fisica.ufc.br; (c) josue@fisica.ufc.br; (d) carla@fisica.ufc.br.

²Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da UFC, Tel.: (0xx) 85 3366 9775, Fax: (0xx) 85 3366 9627, e-mail: cariri@ufc.br.

³Faculdade de Educação de Crateús – UECE, Tel.: (0xx) 88 3691 0822, e-mail: ossian@uece.br.

INTRODUÇÃO

A química das águas é um fator determinante para seu propósito de uso. A qualidade das águas subterrâneas é controlada por vários fatores, como clima, características do solo, modo de circulação através dos tipos de rochas, intrusão de águas salinas em áreas costeiras e atividades humanas.

Embora desenvolvida para estudos em ciências sociais, a análise estatística multivariante tem sido aplicada com muito êxito em estudo de qualidade de água subterrânea. Lambrakis et al. (2004) aplicaram o método estatístico multicomponente: análise fatorial R-modal, análise cluster e análise discriminante para investigar a dispersão de NO_3^- em aquíferos. Love et al. (2004) utilizaram análise fatorial R-modal em dois problemas de qualidade de água subterrânea: o primeiro, com amostras em torno de uma mina de minério de ferro e o segundo caso, em águas na vizinhança de esgoto. Em ambos os casos, a análise fatorial R-modal separou as diferentes fontes possíveis de contaminação local. Singh et al. (2002) aplicaram técnica estatística univariante e multivariante para analisar dados de 20 variáveis. A análise fatorial R-modal estabeleceu uma associação geoquímica entre sete das variáveis e a condutividade elétrica. Wang et al. (2001) fizeram uma análise fatorial R-modal de sete variáveis de amostras de águas coletadas do sistema cárstico Liulim, na China, que tem um grupo de fontes como a principal descarga subterrânea regional, para extrair informações hidrológicas a partir dos dados hidroquímicos e analisar a contribuição das fontes sobre a química das águas.

A análise fatorial R-modal representa um número grande de variáveis, os dados originais, através de um número menor de fatores significantes; cada um destes fatores é uma combinação linear dos parâmetros medidos. Como resultado, se tem um número pequeno de fatores que detem as mesmas informações do conjunto de dados coletados.

Neste trabalho é utilizada a análise fatorial R-modal em um conjunto de amostras de água subterrânea no município de Caucaia, armazenadas em três diferentes sistemas aquíferos.

ÁREA DE ESTUDO

A área estudada, o município de Caucaia (Figura 1) cuja sede dista aproximadamente 30 km de Fortaleza, localiza-se na porção norte/nordeste do Estado do Ceará.

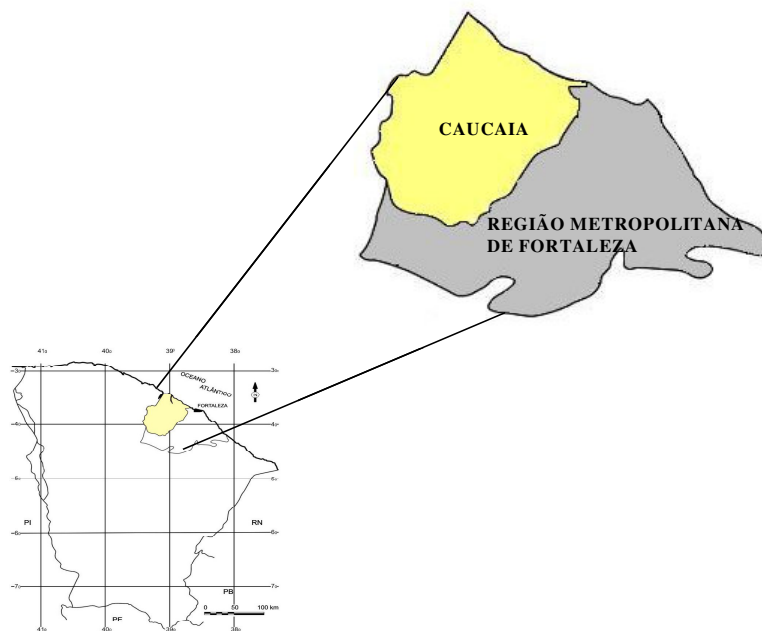


Figura 1 - Localização da área de estudo

Três sistemas aquíferos estão presentes na área (Aguiar et al. 2000): o Complexo Gnáissico-Migmatítico, que é uma associação petrotectônica constituída de gnaisses aluminosos, em parte migmatizados, freqüentemente intercalados por níveis quartzíticos e calssilicáticos, em jazimento lenticulares de pequenas dimensões e conformáveis ao bandamento gnáissico. A Formação Barreiras, que é uma seqüência constituída de sedimentos areno-argilosos, pouco ou não litificados, de coloração avermelhada, creme ou amarelada, muitas vezes com aspecto mosqueado, mal selecionado, de granulação variando de fina a média, mostrando horizontes conglomeráticos e níveis lateríticos. As Dunas / Paleodunas, que são formadas a partir da acumulação de sedimentos removidos da fase de praia pela deflação eólica e distribuem-se como um cordão contínuo, disposto paralelamente à linha de costa, somente interrompido pela presença de planícies fluvio-marinhas, ou, ainda, pela penetração até o mar de sedimentos da Formação Barreiras e promotórios formados por cangas lateríticas e quartzosas

METODOLOGIA

Amostras de água subterrânea foram coletadas no município de Caucaia e 15 parâmetros foram determinados em cada uma delas,: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Fe^{2+} , Al^{3+} , NH_4^+ , Cl^- , $SO_4^{=}$, HCO_3^- , $CO_3^{=}$, OH^- , NO_3^- , pH e condutividade elétrica (CE). Os parâmetros pH e condutividade elétrica foram medidos no campo, e as concentrações dos íons foram determinadas no Laboratório de

Hidroquímica do Grupo de Física Isotópica do Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará (UFC) utilizando métodos padrão internacional descritos em APHA (1992).

As 47 amostras, cada uma delas com 15 parâmetros analisados, foram tratadas com análise fatorial R – modal, através da determinação de um número reduzido de fatores que mantêm as informações do conjunto. Esta análise é feita através dos seguintes passos (Bakac, 2004):

1 – Padronização dos dados, que resulta em novos valores para todas as variáveis que não tem somente média zero, mas são medidos em unidades de desvio padrão. Isto é feito subtraindo a média da distribuição de cada observação e dividindo pelo desvio padrão da distribuição. A nova variável tem uma forma padrão normal.

2 – Cálculo de uma matriz de correlação.

3 - Extração de uma matriz de fatores pelo método de componentes principais considerando 2-3 fatores significantes.

4 – Rotação da matriz dos fatores pelo método Varimax normalizado para obter uma estrutura simples para interpretação.

5 – Interpretação dos fatores dominantes.

6 – Cálculo dos escores para cada fator.

7 – Interpretação de processos.

A estrutura que é obtida pelo método Varimax inclui fatores dominantes, as variáveis e seus valores de comunalidade que é a proporção da variância total de uma variável explicada pelos fatores totais.

Para a interpretação do processo, gráficos das projeções das cargas dos Fatores principais são feitos no plano bidimensional.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das análises hidroquímicas das águas subterrâneas estão compilados na Tabela 1. As amostras (47) e parâmetros (15) foram estudados separadamente sob o aspecto do contexto hidrogeológico: *Dunas/Paleodunas, Formação Barreiras e Complexo Gnaíssico-Migmatítico*.

Tabela 1 – Concentração de íons e parâmetros físico-químicos em amostras das Dunas/Paleodunas

(a), Formação Barreiras (b) e Complexo Gnaíssico-Migmatítico (c) do município de Caucaia.

Amostra	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	Concentração (mg/L)												
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Fe ⁺²	Al ⁺³	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁼	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻
1 ^a	1237	6,5	15,7	24,8	93,8	4,9	0,7	0,0	0,0	257,4	24,3	251,4	0,0	3,9	0,1
2 ^a	97	5,8	3,1	1,9	10,1	3,9	0,2	0,0	0,2	15,5	3,6	9,8	0,0	5,1	0,0
3 ^a	76	5,8	3,1	0,9	8,5	1,9	0,0	0,0	0,0	11,7	2,4	7,3	0,0	6,7	0,0
4 ^a	62	5,6	0,0	1,9	6,9	1,9	0,1	0,0	0,1	8,7	2,2	7,3	0,0	6,0	0,0
5 ^a	1386	6,8	37,7	48,7	81,0	9,9	0,1	0,0	0,0	330,2	7,0	192,8	0,0	4,5	0,0
6 ^a	466	6,9	10,2	17,2	51,5	4,9	0,2	0,0	0,0	110,7	5,4	52,5	0,0	2,2	0,0
7 ^a	503	7,4	43,9	29,6	14,3	5,9	0,2	0,0	2,4	20,4	18,0	261,1	0,0	15,4	0,0
8 ^a	192	5,2	3,1	4,3	28,8	2,9	0,5	0,0	1,9	42,7	8,4	19,5	0,0	4,4	0,0
9 ^a	252	7,4	34,1	6,9	9,4	2,9	1,0	0,0	1,9	14,6	3,1	144,0	0,0	3,8	0,0
10 ^a	539	7,6	56,1	16,7	35,5	4,9	0,4	0,0	1,9	45,6	26,2	200,1	14,4	5,4	0,8
11 ^a	419	6,7	29,8	12,4	31,0	7,9	0,0	0,0	1,0	40,8	15,5	134,4	0,0	10,4	0,0
12 ^a	584	5,7	11,0	14,3	75,7	16,1	0,0	0,0	1,3	102,0	44,2	44,8	0,0	22,0	0,0
13 ^a	571	6,7	16,5	12,4	71,8	16,1	0,0	0,0	1,0	92,3	42,2	62,2	0,0	20,8	0,0
14 ^a	568	6,4	14,9	11,2	85,1	5,9	0,0	0,0	0,9	109,8	30,8	42,3	0,0	27,0	0,0
15 ^a	647	6,6	12,6	15,5	94,8	3,9	0,2	0,0	1,0	113,6	34,3	44,8	0,0	39,6	0,0
16 ^a	388	6,2	29,8	10,5	29,9	3,9	0,0	0,0	0,9	44,7	18,3	77,2	0,0	20,	0,0
17 ^a	274	6,4	16,1	6,9	28,8	3,9	0,2	0,0	0,8	39,8	45,5	57,3	0,0	13,8	0,0
18 ^a	814	7,2	87,1	25,3	41,1	3,9	0,0	0,0	1,0	66,0	28,7	248,9	0,0	31,2	0,1
19 ^a	590	7,3	54,9	23,6	33,2	5,9	0,0	0,0	1,4	53,4	26,5	191,7	0,0	19,7	0,0
20 ^a	187	5,4	0,0	5,3	24,6	5,9	0,2	0,0	2,1	34,00	1,4	42,3	0,0	13,3	0,0
21 ^b	306	6,3	5,5	6,4	52,7	3,9	0,0	0,0	0,2	45,6	7,1	69,6	0,0	9,1	0,0
22 ^b	1723	6,7	52,8	41,3	230,0	10,9	0,1	0,0	0,0	458,5	4,4	137,9	0,0	17,7	0,0
23 ^b	464	6,9	20,4	3,8	85,2	3,9	0,1	0,0	0,0	68,0	10,0	150,1	0,0	3,0	0,0
24 ^b	784	6,5	16,5	19,1	104,8	7,9	0,1	0,0	2,4	169,0	6,7	104,9	0,0	23,0	0,1
25 ^b	2070	6,9	53,5	59,5	49,2	17,2	0,2	0,0	0,0	552,7	4,8	186,7	0,0	7,2	0,0
25 ^b	816	4,8	14,9	27,2	90,6	14,0	0,5	0,2	2,0	129,2	23,1	9,8	0,0	129,2	0,0
27 ^b	831	6,4	31,4	37,9	71,8	9,9	0,0	0,0	2,7	181,6	3,8	156,2	0,0	9,9	0,1
28 ^b	510	7,4	51,0	32,2	14,3	4,9	0,1	0,1	1,8	20,4	9,9	312,4	0,0	4,0	0,0
29 ^b	484	6,5	14,1	17,2	52,9	5,9	0,1	0,0	3,8	112,7	6,6	65,9	0,0	4,4	0,0
30 ^b	631	6,1	9,4	12,9	99,1	6,9	0,1	0,0	1,7	124,3	19,6	92,7	0,0	18,8	0,0
31 ^c	647	7,1	54,5	27,9	33,2	7,9	0,0	0,0	1,0	54,4	12,5	189,2	12,2	20,0	0,0
32 ^c	3660	6,7	142,0	174,3	321,2	24,7	0,7	0,0	2,7	1084,6	27,9	164,3	0,0	41,0	1,8
33 ^c	787	7,4	22,4	46,0	56,6	5,9	0,8	0,0	2,1	72,8	6,0	383,4	0,0	7,5	0,0
34 ^c	8950	7,7	383,0	549,2	797,2	19,3	0,0	0,0	2,2	3035,4	36,0	505,4	0,0	83,3	0,0
35 ^c	5640	6,5	127,1	172,3	851,3	29,1	0,0	0,0	1,7	1834,2	25,8	189,2	0,0	16,5	0,0
36 ^c	3430	7,4	45,5	57,2	603,2	26,9	0,2	0,0	2,9	884,9	45,1	256,4	0,0	32,6	0,3
37 ^c	1446	7,4	91,0	74,8	87,9	3,9	0,0	0,0	2,1	258,4	7,1	438,1	0,0	4,0	0,1
38 ^c	2440	7,1	140,5	109,3	183,2	11,9	0,0	0,0	1,5	586,0	32,6	420,7	0,0	6,5	0,1
39 ^c	3360	7,1	111,0	159,0	343,4	7,9	0,4	0,0	1,3	833,7	22,8	485,4	0,0	33,9	0,8
40 ^c	2270	6,7	46,3	65,5	332,3	7,9	0,1	0,0	1,6	558,5	51,4	248,9	0,0	343,6	0,0
41 ^c	3660	6,7	89,4	112,0	481,2	7,9	0,0	0,0	1,6	1005,3	27,1	263,9	0,0	3,6	0,0
42 ^c	1982	7,7	38,3	56,7	295,3	6,9	0,0	0,0	1,9	479,8	52,4	229,0	0,0	8,9	0,0
43 ^c	1451	6,7	43,9	44,1	192,6	5,9	1,3	0,0	1,6	323,4	48,9	263,9	0,0	5,8	0,1
44 ^c	2770	7,2	113,4	146,2	252,6	11,9	0,0	0,0	1,4	530,3	25,7	600,0	0,0	79,0	0,0
45 ^c	696	7,2	71,9	27,2	28,8	3,9	0,2	0,0	1,8	87,4	3,2	281,3	0,0	5,4	0,0
46 ^c	2270	7,7	35,1	56,3	418,8	3,9	0,0	0,0	1,8	445,8	99,3	87,1	171,2	15,4	0,0
47 ^c	5910	6,8	256,3	242,0	595,9	11,9	0,1	0,0	1,9	1789,7	11,3	512,8	0,0	15,1	0,0

A análise fatorial das águas nas *Dunas/Paleodunas* indicou quatro fatores que explicam 73,17% da variância total, compostos pelos parâmetros e sua ponderação como indicado na Tabela

2. Estes fatores são:

Fator 1: CE, Cl⁻, Na⁺, Mg²⁺ e K⁺.

Fator 2: CE, Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻ e pH.

Fator 3: NH₄⁺, NO₃⁼, SO₄⁼ e Fe²⁺

Fator 4: NO₂⁻ e NO₃⁼.

O Fator 1 representa a presença de aerossóis marinhos, composto, principalmente, por cloreto de sódio. Em uma água considerada água padrão do mar vale para os cátions (Laraque, 1991) Na⁺ (76,9%) > Mg²⁺ (18,0%) > Ca²⁺ (3,3%), onde os números entre parênteses são os percentuais de meq/L. Os valores para os ânions nas águas oceânicas são Cl⁻ (90,5%) > SO₄⁻ (9,2%) > HCO₃⁻ (0,3%).

O Fator 2 carrega traços de carbonatos, principalmente do tipo dolomita, mostrados pela presença de Ca²⁺, Mg²⁺ e HCO₃⁻ relacionados também ao pH. Os fatores 3 e 4 indicam contaminação pela presença de NO₂⁻, NO₃⁻ e NH₄⁺. Esta contaminação ocorre na área pelo grande número de fossas sépticas, inexistência de sistema de esgoto e pela vulnerabilidade da água subterrânea das dunas que condicionam estes resultados.

Tabela 2 - Fator Varimax de amostras das Formações Dunas/Paleodunas

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Comunalidade
Cl ⁻	0,92				0,94
Na ⁺	0,89				0,86
CE	0,85	0,52			0,98
K ⁺	0,52				0,37
HCO ₃ ⁻		0,91			0,89
Ca ⁺⁺		0,90			0,91
pH		0,80			0,72
Mg ⁺⁺	0,63	0,68			0,88
NO ₃ ⁻			0,82		0,70
NH ₄ ⁺			0,77		0,66
SO ₄ ⁼			0,72		0,70
Fe ⁺²			-0,52		0,29
Al ⁺³					0,09
NO ₂ ⁻				0,97	0,99
CO ₃ ⁼				0,96	0,98
Soma dos quadrados	3,26	3,20	2,42	2,10	10,98
Variância (%)	21,73	21,32	16,10	14,02	73,17

A Figura 2 apresenta o Fator 1 versus Fator 2; ela é a projeção do espaço hexadecimial no espaço bidimensional correspondente a cada fator separado com os centróides de cada parâmetro. Nestas águas, o cátion que está representado pelos dois fatores é o magnésio que tem origem nos aerossóis marinhos e na dissolução de dolomita.

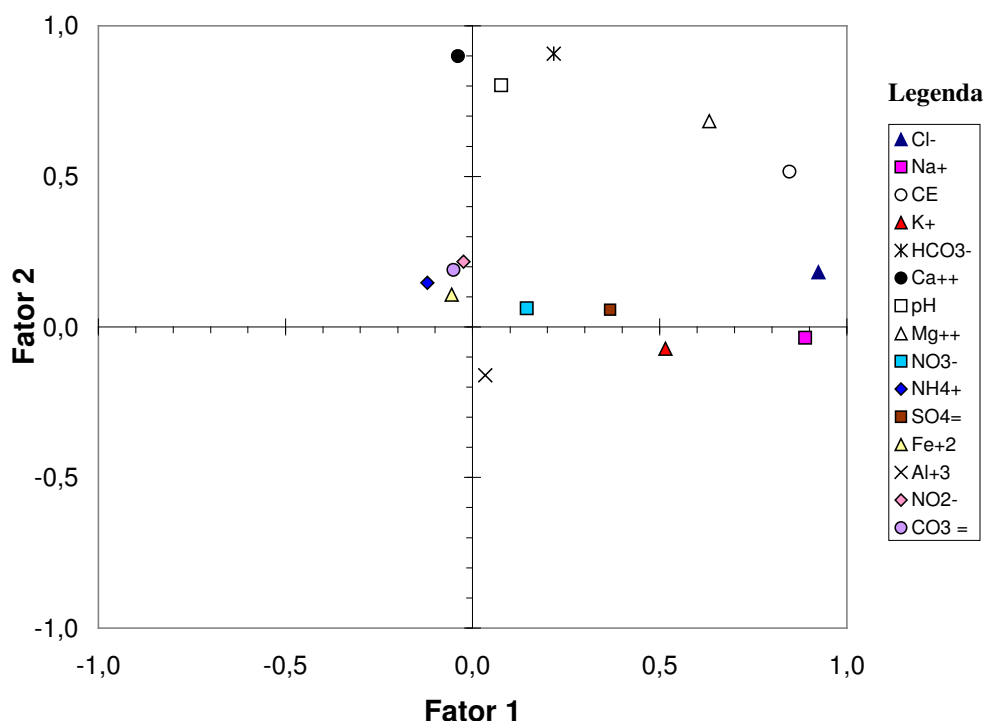


Figura 2 – Fator 1 versus Fator 2 da análise R-modal nas amostras das Dunas/Paleodunas: projeção no plano dos centróides de cada parâmetro.

A análise das águas no *Complexo Gnaíssico-Migmatítico* indicou quatro fatores que explicam 69,58% da variância total (Tabela 3). Estes fatores são:

Fator 1: CE, Cl⁻, Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ e K⁺.

Fator 2: HCO₃⁻, CO₃⁼ e SO₄⁼

Fator 3: K⁺, Al³⁺, Fe²⁺ e NO₂⁼.

Fator 4: NH₄⁺ e pH

Como nas Dunas/Paleodunas, o Fator 1 no *Complexo Gnaíssico-Migmatítico* representa a presença de aerossóis marinhos e o Fator 3 representa processos de intemperismo de aluminossilicatos; o *Complexo* é uma associação de gnaisses aluminosos intercalados frequentemente por níveis calcilicáticos. Este Fator também mostra a presença de nitratos decorrente de contaminação. O fator 4 também é representativo de contaminação através da contribuição do NH₄⁺. O Fator 2 mostra diminuição de bicarbonatos e aumento de carbonatos e de sulfato.

Tabela 3 - Fator Varimax de amostras do Complexo Gnáissico - Migmatítico

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Comunalidade
CE	1,00				1,00
Cl ⁻	1,00				1,00
Mg ⁺⁺	0,91				0,89
Na ⁺	0,88				0,88
Ca ⁺⁺	0,86				0,88
K ⁺	0,61		0,56		0,70
SO ₄ ⁼		0,88			0,81
CO ₃ ⁼		0,76			0,71
HCO ₃ ⁻		-0,65			0,66
Al ⁺³			0,81		0,67
NO ₂ ⁻			0,58		0,35
Fe ⁺²			0,40		0,25
pH				0,69	0,70
NH ₄ ⁺				-0,67	0,73
NO ₃ ⁻					0,20
Soma dos quadrados	5,03	2,11	2,04	1,25	10,44
Variância (%)	33,55	14,09	13,58	8,35	69,58

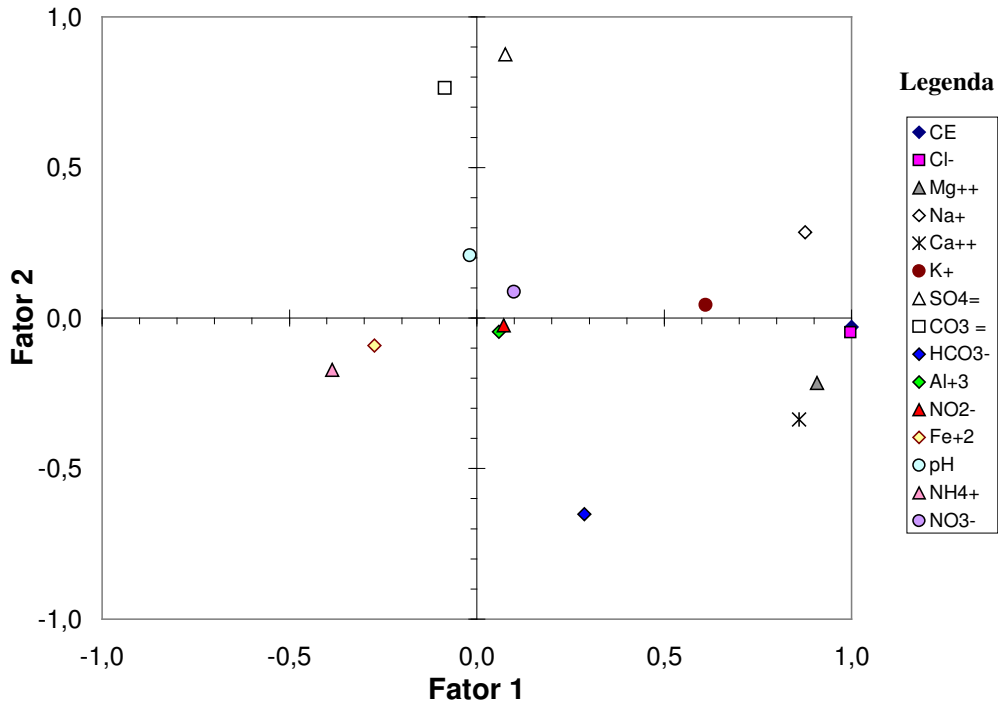


Figura 3 - Fator 1 versus Fator 2 da análise R-modal nas amostras do Complexo Gnáissico - Migmatítico: projeção no plano dos centróides de cada parâmetro.

A análise das águas na *Formação Barreiras* indicou três fatores que explicam 75,64% da variância total (Tabela 4). Estes fatores são:

Fator 1: CE, Cl⁻, Mg²⁺, Ca²⁺ e K⁺.

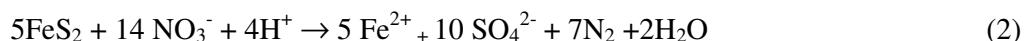
Fator 2: Fe²⁺, Al³⁺, NO₃⁻ e SO₄⁼, pH.

Fator 3: pH, HCO₃⁻ Ca²⁺, Na⁺ e NH₄⁺.

Nesta formação, o Fator 1 também reflete a contribuição dos aerossóis marinhos. O Fator 2 representa processos que ocorrem nos níveis lateríticos; a oxidação da pirita (FeS₂) libera íons de sulfato, SO₄²⁻, e ferro, Fe²⁺ (Appelo, 1999):



A pirita também se oxida na presença de nitrato (Appelo, 1999):



Este fator identifica também contaminação pela presença de NO₃⁻ e NH₄⁺.

O Fator 3 indica contaminação recente pelas fossas pela presença de NO₃⁻ e representa processos de troca que podem ocorrer nos sedimento argilosos desta Formação. O potássio é o único cátion que tem origem tanto nos aerossóis marinhos quanto no intemperismo de aluminossilicatos.

Tabela 4 - Fator Varimax de amostras da Formação Barreiras

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Comunalidade
CE	0,97			0,99
Mg ⁺⁺	0,94			0,90
Cl ⁻	0,91			0,99
K ⁺	0,83			0,92
Ca ⁺⁺	0,83		0,44	0,93
CO ₃ ⁼				0,00
NO ₃ ⁻		0,96		0,97
Al ⁺³		0,95		0,96
Fe ⁺²		0,90		0,88
pH		-0,81	0,52	0,95
SO ₄ ⁼		0,78		0,69
NH ₄ ⁺			0,94	0,88
HCO ₃ ⁻			0,80	0,92
Na ⁺			-0,47	0,30
NO ₂ ⁻				0,06
Soma dos quadrados	4,40	4,30	2,65	11,35
Variância (%)	29,35	28,65	17,64	75,64

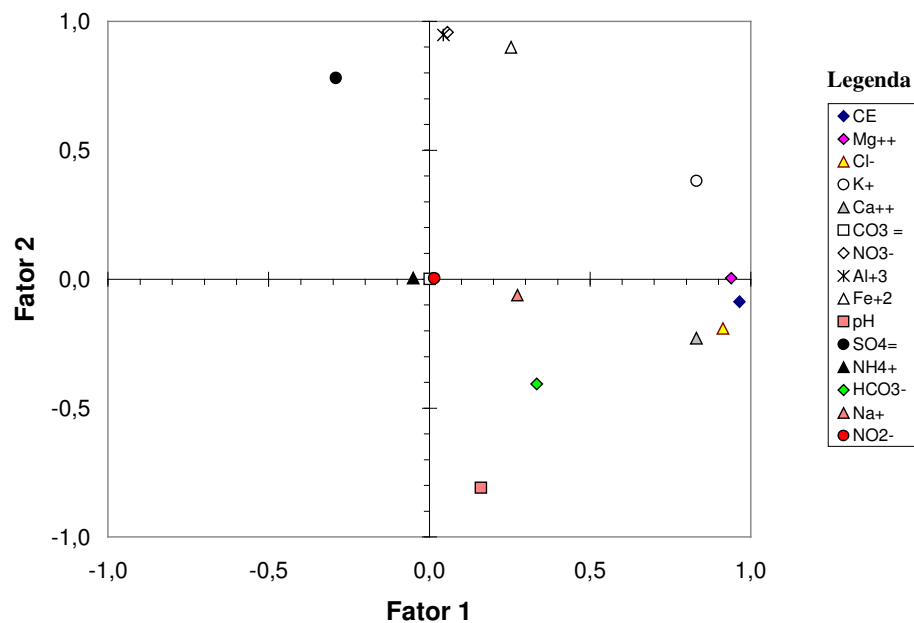


Figura 4 - Fator 1 versus Fator 2 da análise R-modal nas amostras da Formação Barreiras: projeção no plano dos centróides de cada parâmetro.

Uma análise do mesmo tipo foi feita para todo o conjunto de amostras dos três sistemas aquíferos; os resultados estão apresentados na Tabela 5 e na Figura 5. A heterogeneidade do conjunto fez com que os fatores explicassem somente 54,76% da variância total, o que torna os três fatores pouco representativos do sistema. O único processo claramente representado foi a contribuição dos aerossóis marinhos.

Tabela 5 - Fator Varimax de todas as amostras

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Comunalidade
Cl ⁻	0,98			0,98
CE	0,98			1,00
Mg ⁺⁺	0,92			0,90
Na ⁺	0,87		0,34	0,88
Ca ⁺⁺	0,86	0,40		0,90
K ⁺	0,70			0,55
NO ₂ ⁻				0,06
NO ₃ ⁻				0,08
pH		0,74		0,63
HCO ₃ ⁻	0,53	0,67		0,74
Al ⁺³				0,13
NH ₄ ⁺				0,08
SO ₄ ⁼			0,81	0,69
CO ₃ ⁼			0,73	0,56
Fe ⁺²				0,01
Soma dos quadrados	5,23	1,53	1,45	8,21
Variância (%)	34,90	10,22	9,65	54,76

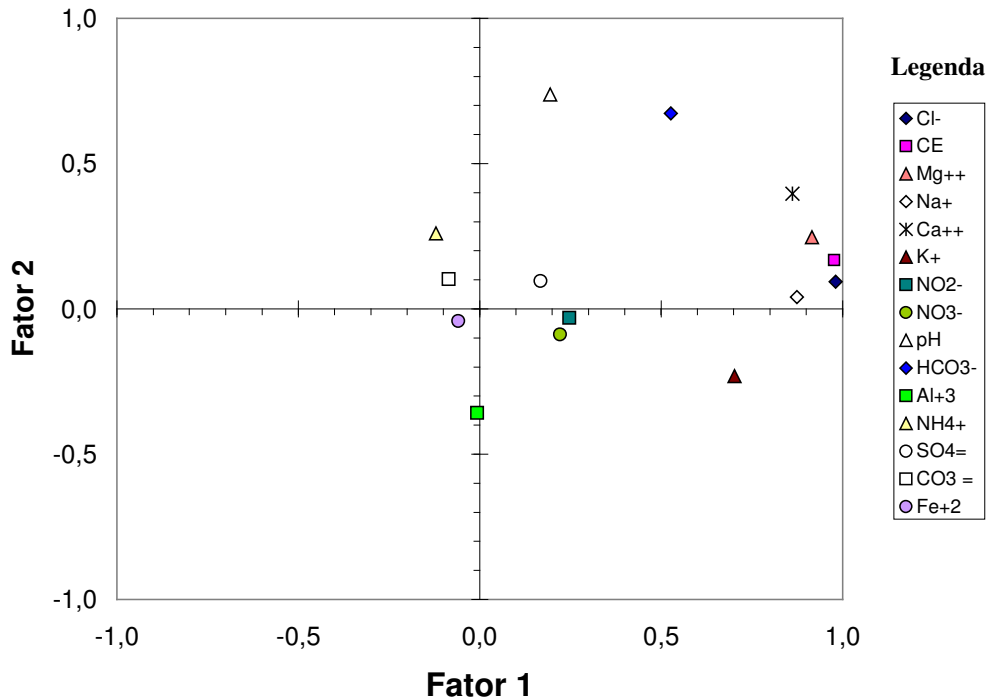


Figura 5 - Análise fatorial de todas as amostras: projeção no plano dos centróides de cada parâmetro.

CONCLUSÕES

A análise fatorial R-modal, utilizada para as amostras de águas subterrâneas com dados físico-químicos e químicos, permitiu identificar a origem dos sais nos três sistemas aquíferos Dunas/Paleodunas, Formação Barreiras e Complexo Gnáissico-Migmatítico.

As águas armazenadas nas Dunas/Paleodunas recebem as contribuições dos aerossóis marinhos, da dissolução de carbonatos e contaminação com elementos nitrogenados.

As águas subterrâneas na Formação Barreiras recebem contribuições dos aerossóis marinhos, da oxidação da pirita e contaminação com elementos nitrogenados.

No Complexo Gnáissico-Migmatítico as águas recebem contribuições dos aerossóis marinhos, do intemperismo de alumino-silicatos e contaminação com elementos nitrogenados.

Assim, a principal influência nos três domínios hidrogeológico é a proximidade do mar. A composição química do substrato aquífero fica em segundo plano.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES e à FUNCAP (Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- LAMBRAKIS, N., Antonakos, A., Panagopoulos, G., 2004. The use of multicomponent statistical analysis in hydrogeological environmental research. *Water Research* 38, 1862-1872.
- LOVE, D., Hallbauer, D., Amos, A., Hranova, R., 2004. Fator analysis as a tool in groundwater quality management: two southern African case studies. *Physics and Chemistry of the Earth* 29, 1135-1143.
- SINGH, R. V., Sinha, R. M., Bisht, B. S., Banerjee, D.C., 2002. Hydrogeochemical exploration for unconformity – related uranium mineralization: exemple from Palnadu sub-basin, Cuddapah Basin, Andhra Pradesh, India. *Journal of Geochemical Exploration* 76, 71-92
- WANG, Y., Luo, T. Z., 2001. Geostatistical and geochemical analysis of surface water leakage into groundwater on a regional scale: a case study in the Liulin Karst system, northwestern China. *Journal of hydrology* 246, 223-234.
- AGUIAR, R. B. et al. 2000. A origem dos sais nas águas subterrâneas dos aquíferos costeiros no município de Caucaia - Ceará. Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas. Fortaleza.
- APHA.1992. Standard Methods For the examination of water and wastewater. 18 ed., AWWA – WPCP.
- BAKAC, M. 2004. R – mode Fator analysis applied to the distribution of radionuclides in Turkey. *Radiation Physics and Chemistry* 71,781-782.
- LARAQUE, A., 1991. Comportments hydrochimiques de “açude” do nordeste bresilien semi-aride. Tese de Doutorado, Universidade de Montpellier., 325p.
- APPELO, C. A. J., Postma, D., 1999. *Geochemistry groundwater and polution*. Ed. A. A. Balkema, 536p.