

A ORIGEM DOS SAIS NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DOS AQUÍFEROS COSTEIROS NO MUNICÍPIO DE CAUCAIA –CEARÁ

**Robério Bôto de Aguiar¹; Marlúcia Freitas Santiago²;
Josué Mendes Filho² & Horst Frischkorn³**

Resumo - A água subterrânea armazenada nos sistemas aquíferos Dunas e Dunas/Barreiras, responsável pelo abastecimento d'água da região costeira do município de Caucaia, foi estudada sob o aspecto de salinidade. As análises de 40 amostras coletadas em setembro/98, fevereiro/99 e junho/99, mostraram que as águas deste sistema aquífero são de baixa a média salinidade, com condutividade elétrica na faixa de 157 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 885 $\mu\text{S}/\text{cm}$, comparada com a salinidade das águas dos poços perfurados em rochas cristalinas existentes na área, que apresentam condutividades elétricas entre 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 4630 $\mu\text{S}/\text{cm}$. As análises dos isótopos estáveis oxigênio-18 e deutério mostram que os cloretos encontrados nas águas amostradas são provenientes dos aerossóis marinhos ou "sea spray" não da contribuição direta da água do mar.

Palavras-chave – Água Subterrânea; Hidroquímica; Isótopos ambientais.

INTRODUÇÃO

O município de Caucaia, situado na Região Metropolitana de Fortaleza, tem entrado fortemente no circuito turístico ao se constituir alvo de investimentos privados e do planejamento público estadual. Sua riqueza turística está na beleza de suas praias, procuradas pelos moradores da capital e, principalmente, por turistas do sul do país e exterior.

¹ Departamento de Geologia/UFC, Campus do Pici, CEP: 60455-760, Fortaleza – Ceará, Tel. (85) 494.6252 - E-mail; botaguair.bol.com.br

² Departamento de Física/UFC, Caixa Postal 6030, CEP. 60451-970, Fortaleza – Ceará, Tel. (85) 288.9913 E-mail: marlucia@fisica.ufc.br; E-mail: josue@fisica.ufc.br

³ Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental/UFC, Caixa Postal 6018, CEP. 60451-970, Fortaleza – Ceará, Tel. (85) 288.9775

O acelerado processo de urbanização da zona costeira de Caucaia tem ocasionado problemas ao meio ambiente, tendo em vista que a área não possui infra-estrutura básica de saneamento e que o abastecimento d' água é feito por poços tubulares, amazonas e cacimbas que, em geral, estão próximos de fossas sépticas ou negras onde são lançados os esgotos.

Além da ocupação desordenada do meio físico e da crescente expansão imobiliária, o risco de poluição dos aquíferos costeiros por intrusão da cunha salina torna-se efetivo, pois ocorre intenso bombeamento dos poços que exploram esse manancial subterrâneo sem o rígido controle dos parâmetros recomendados pelos estudos hidrogeológicos, para impedir o deslocamento da interface água doce/ água salgada.

CARACTERÍSTICAS DA ÁREA

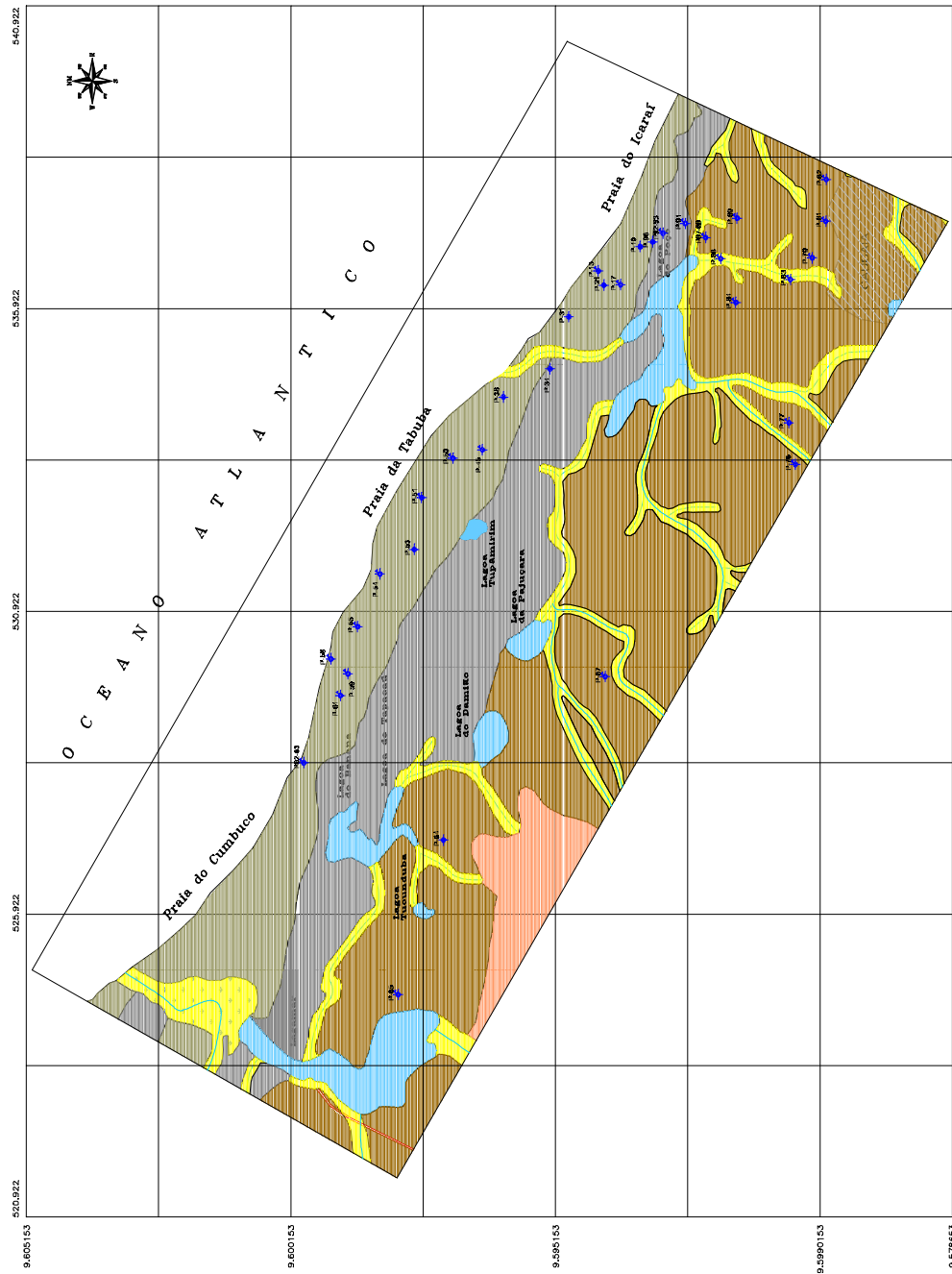
A área objeto deste estudo (Figura 1), com aproximadamente 100 Km², compreende parte do litoral do município de Caucaia, situado na porção norte/nordeste do Estado do Ceará e dista cerca de 15 km de Fortaleza.

Geologia - Conforme Brandão (1995), a área estudada é caracterizada geologicamente pela ocorrência de terrenos cristalinos pré-cambrianos, denominados Complexo Gnaíssico-Migmatíticos, e coberturas sedimentares cenozóicas, representadas pela Formação Barreiras, Coberturas Colúvio-Eluviais, Paleodunas, Dunas Móveis, Depósitos Flúvio-Aluvionares e Mangues (Figura 1).

O Complexo Gnaíssico-Migmatítico corresponde a uma associação petrotectônica constituída de gnaisses aluminosos, em parte migmatizados, freqüentemente intercalados por níveis quartzíticos e calcissilicáticos, em jazimento lenticulares de pequenas dimensões e conformáveis ao bandamento gnaíssico.

A Formação Barreiras é uma seqüência constituída de sedimentos areno-argilosos, pouco ou não litificados, de coloração avermelhada, creme ou amarelada, muitas vezes com aspecto mosqueado, mal selecionados, de granulação variando de fina a média, mostrando horizontes conglomeráticos e níveis lateríticos.

As dunas 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.

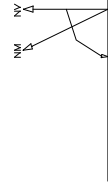


C O L U N A G E O L Ó G I A

UNIDADE GEOLÓGICA	LITOLOGIA
Qa	Sedimentos arenosos e argilo-arenosos silvionares e de mangues; engloba depósitos fluviais lacustres.
Qd	Áreas finas e médias, esbranquiçadas, com níveis de mineração pastosas.
Qpd	Arenitas de granulometria fina a média, com matriz argilosa, silvionares, compostas por quartzozos.
Tb	Arenitas de granulometria fina e média, com matriz argilosa, semiconsolidadas, com níveis de mineração pastosas e concreções lateríticas.
Tc	Sedimentos arenó-argilosos, inconsolidados, coloração amarelo-avermelhada com concreções ferruginosas dispersas.
	Biotita-granitos, total ou parcialmente migmatizados com muscovita anfibólio, com níveis de mineração pastosas (mp) e níveis de quartzitos (qt).
	Coberturas Colúmbio-Elvile
	Complexos Géis-sílica megacrítica

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Área Urbana
- Rodovias
- Polígono de Estado
- Poço Tubular Monitorado
- Rio Perene
- Rio Intermitente
- Açude e Lagoa
- Mangues



DECLINAÇÃO MAGNÉTICA NO CENTRO DA FOLHA 1:897
23° 28' W. CRESCER ANUALMENTE 5'



FONTE:
Mapa Geológico Escala 1:100.000
D.N.P.M., Brasília, Ago / 96

Hidrogeologia – Na área em estudo, as águas subterrâneas ocorrem em duas províncias hidrogeológicas: nos terrenos cristalinos e nos terrenos sedimentares.

No domínio dos terrenos cristalinos, o contexto hidrogeológico está intimamente associado aos fendilamentos pois suas rochas possuem uma porosidade primária quase nula, conferindo-lhes uma permeabilidade extremamente baixa.

As águas subterrâneas, na porção sedimentar da área, estão localizadas em dois sistemas aquíferos: nas dunas e nos níveis arenosos da Formação Barreiras. Esta formação caracteriza-se por uma expressiva variação faciológica com intercalações de níveis mais ou menos permeáveis, o que lhe confere parâmetros hidrogeológicos diferenciados, de acordo com o contexto local. Sua recarga é proveniente da pluviosidade e da contribuição dos rios nos meses de inverno e sua exploração é bem desenvolvida tendo em vista a significativa área que ocupa na faixa costeira do município de Caucaia.

Das formações geológicas distribuídas na área de estudo, as dunas se constituem o melhor aquífero e podem contribuir substancialmente para o abastecimento de água. Representam o aquífero superior livre e se desenvolvem ao longo do litoral, formando um cordão aproximadamente paralelo à costa, disposto discordantemente sobre os sedimentos da Formação Barreiras.

METODOLOGIA

Inicialmente, foram cadastrados em julho/98, 100 pontos d'água, entre poços, tubulares e amazonas e lagoas. Em cada um deles foram medidos a condutividade elétrica, pH e temperatura antes da água passar por processo de tratamento ou de armazenamento. Posteriormente, selecionou-se 40 desses poços para novas coletas de água, realizadas em setembro/98, fevereiro/99 e junho/99, objetivando as análises físico-químicas e isotópicas. Ao todo foram feitas 80 análises físico-químicas e 36 análises isotópicas, sendo 36 para oxigênio-18 e 10 para deutério.

As análises físico-químicas foram feitas no Laboratório de Controle da Qualidade da Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE, usando os métodos padrões do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. As medidas isotópicas foram feitas no Laboratório de Ecologia Isotópica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA/USP, em Piracicaba, São Paulo.

Como as abundâncias dos isótopos ^{18}O e ^2H em relação, respectivamente aos isótopos ^{16}O e ^1H , são muito pequenas ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O} = 0,204 \%$ e $^2\text{H}/^1\text{H} = 0,015 \%$), as medidas isotópicas são feitas experimentalmente através das razões $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ e $^2\text{H}/^1\text{H}$

comparadas com as mesmas razões de uma água padrão, expressas em valores de δ (‰) definido pela equação:

$$\delta \text{ ‰} = \frac{R_a - R_p}{R_p} \times 10^{-3}$$

onde R_a ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ou $^2\text{H}/\text{H}$) é a razão do isótopo pesado em relação ao leve na amostra, e R_p é esta razão em um padrão.

O padrão utilizado para as medidas de oxigênio-18 e deutério é o V-SMOW (Vienna-Standard Mean Ocean Water - GONFIANTINI, 1981), uma amostra de água obtida pela mistura de água destilada do Oceano Pacífico com pequenas quantidades de outras águas para ajustar as razões isotópicas do oxigênio e do deutério ao valor do SMOW, o primeiro padrão usado por CRAIG (1961b).

RESULTADOS

A tabela 1 apresenta a localização, a profundidade, as condutividades elétricas medidas em setembro/98, fevereiro/99 e junho/99, além de concentrações iônicas dos 40 poços selecionados.

Observa-se nesta tabela que, dos 40 poços amostrados, 15 têm a finalidade de abastecimento de pequenas comunidades através de chafarizes públicos, 14 pertencem à condomínios ou residências e 11 poços suprem as necessidades de água de hotéis, pousadas, restaurantes e clubes recreativos. Considerando os limites de potabilidade para os cátions e ânions da tabela 1 (CETESB 1993) quase todas elas são adequadas ao consumo humano com exceção dos poços P69,, P70, P71 e P72 pelo excesso de cloretos.

Quanto às profundidades dos poços, os valores variam de 3 a 52 metros e foram separados em dois conjuntos: poços com profundidade até 16 metros com média de 7,7 metros e poços com valores acima de 20 metros, com média de 31,5 metros. Em geral, os poços com as maiores profundidades estão mais afastados do litoral e, em alguns casos, penetram as rochas do embasamento cristalino.

A condutividade elétrica (CE), que é proporcional à concentração de sais dissolvidos na água, apresenta larga faixa de variação, conforme se observa na figura 2. Considerando os valores de $CE \leq 500 \mu\text{S}/\text{cm}$ como baixa salinidade, $500 < CE \leq 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ como salinidade média e $CE > 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ como alta salinidade, temos que: na

primeira coleta (set/98), 15 amostras apresentaram baixa salinidade, 17 salinidade média e 7 amostras salinidade alta. Das 36 amostras coletadas em fevereiro/99, 10 mostram

Tabela 1 – Localização, profundidade, condutividades elétricas, concentrações iônicas e medidas isotópicas das águas de poços no litoral de Caucaia – Ce.

Poço Nº	Localização	Prof (m)	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)			Concentrações (mg/L)							$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	δD (‰)
			9/98	2/99	6/99	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼		
P4	Condomínio Super Quadra Klim	8,0	563	605	652	42,0	13,4	32,0	6,4	77	109	21,5	-	-
P10	Condomínio Trevo	9,2	535	442	462	42,0	15,6	13,1	7,3	30	127	30,8	-	-
P11	Condomínio Portal do Icarai	8,0	788	893	799	54,4	22,5	39,0	8,9	80	125	34,1	-2,56	-12,96
P13	Barraca Kabana	4,5	530	605	418	42,4	12,4	14,5	4,2	48	95	15,1	-2,97	-31,92
P17	Condomínio Boa Vista	22,0	345	365	338	41,5	10,3	9,2	2,7	23	142	11,3	-3,62	-
P21	Condomínio Vereda Atlântica	5,2	600	662	749	54,0	27,6	32,0	6,4	66	118	41,4	-	-
P23	Condomínio Morada dos Ventos Leste	5,0	777	794	885	64,0	27,6	49,0	11,7	92	146	30,4	-2,35	-
P31	Condomínio Panorama Privê	4,5	464	495	454	39,6	13,4	20,8	3,8	52	120	24,3	-2,99	-
P34	Condomínio Mirante Tabuba	5,4	528	709	450	40,0	10,3	32,0	7,8	57	42	30,8	-2,41	-
P38	Hotel Chalés do Atlântico	6,0	578	562	611	53,2	16,0	28,0	3,4	68	154	50,7	-	-
P45	Condomínio Ornélia Reis	5,0	216	170	464	53,2	9,6	13,1	3,8	43	125	39,6	-2,22	-11,25
P50	VBA/Cogerh	16,0	212	-	187	17,6	12,2	7,1	2,4	15	52	13,5	-	-
P51	Pousada Azumara	6,5	355	324	295	40,0	4,3	12,1	3,4	23	113	5,2	-	-
P53	Comunidade de Parazinho	6,0	167	429	157	24,0	0,24	4,8	2,4	12	37	4,5	-	-
P54	Pousada Tendas do Cumbuco	3,0	439	1012	444	64,4	8,6	9,2	3,4	14	165	17,2	-1,71	-1,25
P55	Pousada Pousa das Águias	6,0	206	-	328	42,0	6,9	6,1	2,1	11	100	8,0	-	-
P58	Barracas do Cumbuco	6,0	438	1414	607	56,0	22,8	16,7	6,4	29	184	40,4	-	-
P59	Hotel Dunas do Cumbuco	11,0	231	226	212	20,0	6,7	7,1	3,4	12	65	6,8	-3,58	-14,80
P61	Pousada Elite	11,0	223	206	253	32,4	9,3	4,8	2,7	7	86	8,0	-	-
P62	Hotel Chalés dos Franceses	4,5	370	530	572	52,0	24,0	25,4	3,8	53	162	22,7	-	-
P64	Sítio Santa Helena	6,5	534	939	415	12,4	9,3	37,0	5,0	88	30	14,0	-2,67	-
P65	Chafariz de Pirapora	21,0	206	173	205	0,0	5,7	18,3	3,1	39	10	2,9	-3,13	-
P67	Chafariz do Garrote	15,0	1625	1871	904	22,4	11,7	75,7	107,0	126	132	41,3	-2,82	-16,12
P69	Chafariz do Buriti do Emídio	52,0	1749	1700	1891	132,0	100,8	117,5	12,9	395	365	15,7	-2,96	-
P70	Chafariz de Pajuçara	19,0	3810	3820	4050	80,0	90,0	480,0	31,9	1198	141	25,2	-2,85	-
P72	Chafariz de São João del Rey	30,0	4630	4400	4140	30,0	112,0	520,0	23,9	1111	58	11,3	-2,72	-11,85
P73	Chafariz do Alto do Garrote I	26,0	1282	1251	1269	10,0	14,6	147,5	6,4	279	100	6,3	-2,92	-
P76	Chafariz do Cipó	35,0	1159	1208	728	22,0	18,0	80,3	13,6	120	80	39,6	-3,00	-12,88
P77	Chafariz de Alto Alegre	23,0	378	390	444	14,4	12,0	46,0	4,6	68	39	3,2	-3,48	-
P79	Chafariz Mestre Antônio	35,0	1127	1158	968	20,8	29,5	62,5	10,5	191	33	7,0	-3,13	-
P81	Chafariz do Camurupim I	25,0	589	682	657	10,8	12,7	91,7	7,8	149	52	9,5	-3,12	-17,01
P82	Chafariz do Camurupim II	35,0	815	810	805	12,4	10,6	108,5	7,3	149	131	19,2	-3,38	-10,80
P83	Chafariz de Santa Fé	28,0	528	554	542	17,2	19,7	42,0	7,3	77	109	6,3	-3,10	-
P84	Colônia de Férias dos Securitários	37,0	475	741	485	9,6	10,6	81,9	5,0	61	111	14,4	-2,80	-
P86	Chafariz da Barra Nova	20,0	775	800	921	35,6	33,6	77,2	5,9	156	122	8,4	-3,10	-
P87	Sesc/Barra Nova	50,0	529	622	592	12,0	10,8	90,0	5,5	87	126	20,4	-	-
P89	Sítio do Sr. Arnóbio	40,0	841	857	899	27,2	17,3	80,3	6,4	97	127	11,1	-2,84	-
P91	Chafariz da Área Verde II	50,0	1349	1387	1237	31,2	27,1	127,0	8,9	30,8	110	36,0	-2,66	-
P92	Residência de Dona Zoé	28,0	948	-	378	3,6	9,8	30,0	3,8	84,0	9	6,6	-	-
P96	Residência do Sr. Fernando	12,0	604	-	639	31,6	19,4	41,0	5,9	123,0	62	26,3	-	-

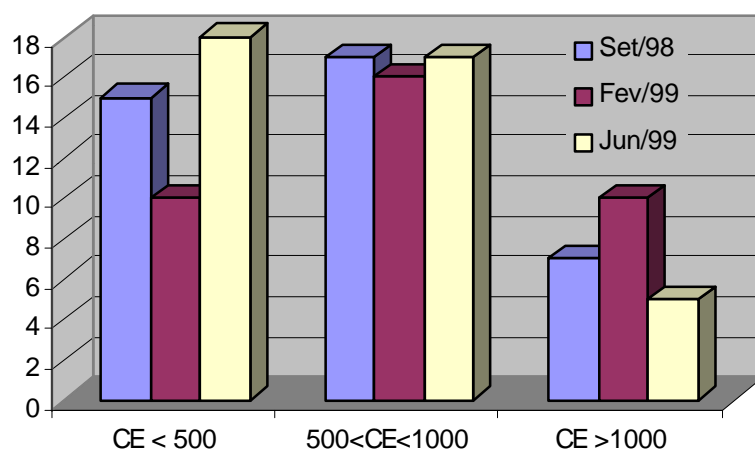


Figura 2 – Distribuição da condutividade elétrica nas três coletas

baixa salinidade, 16 salinidade média e 10 alta salinidade. Em junho/99, são 18 amostras com baixo teor de sais, 17 com média salinidade e 5 com salinidade alta.

Diante do comportamento da variação temporal da condutividade elétrica das águas analisadas, observa-se que na coleta de junho/99, logo após o período de chuvas da região, ocorreu uma pequena diminuição na quantidade de amostras com altos valores de salinidade, caracterizando entrada de água menos salina no sistema e uma conseqüente diminuição nos teores de sais através de diluição. Uma comparação entre os resultados de set/98 e fev/99 também ilustra a sazonalidade da salinidade.

Com os dados da tabela 1, foram calculadas as correlações existentes entre cátions e ânions e entre as concentrações iônicas e a condutividade elétrica medidas em junho/99, com os coeficientes de correlação mostrados no quadro 1.

Quadro 1 - Coeficientes de correlação entre cátions, ânions e condutividade elétrica de amostras d'água coletadas em junho/99.

Concentração (mg/L)	Concentração (mg/L)				CE (μS/cm)
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	
Cl ⁻	0,25	0,87	0,98	0,30	0,98
SO ₄ ⁼	0,37	0,05	- 0,01	0,31	0,07
HCO ₃ ⁻	0,81	0,42	0,06	0,12	0,22
CE (μS/cm)	0,34	0,91	0,97	0,33	1

Os resultados mostram que os cloretos estão bem correlacionados com as condutividades elétricas e com as concentrações de Na^+ e que as águas analisadas são predominantemente cloretadas sódicas

Águas cloretadas sódicas são freqüentemente encontradas nos aquíferos do Ceará. Uma origem possível destes ions é a deposição úmida de aerossóis procedentes do mar, responsável por estes ions nas águas de chuvas em áreas da costa (Moreira-Nordmann et al., 1989). Estudos anteriores mostram que a água da chuva carrega sais de Cl^- vindos da água do mar e que, a concentração de Cl^- diminui com a distância à costa (Rebouças 1973; Santiago 1984). Quando este processo é responsável pela concentração desses ions nas águas superficiais e subterrâneas, as razões $r\text{Cl}^- / r\text{Na}^+$ são da ordem de 1,17 encontrado na água do mar (Laraque, 1991). Os valores na área estudada (Figura 3) indicam os aerossóis marinhos ou “sea spray” como a principal fonte de Cl^- e Na^+ .

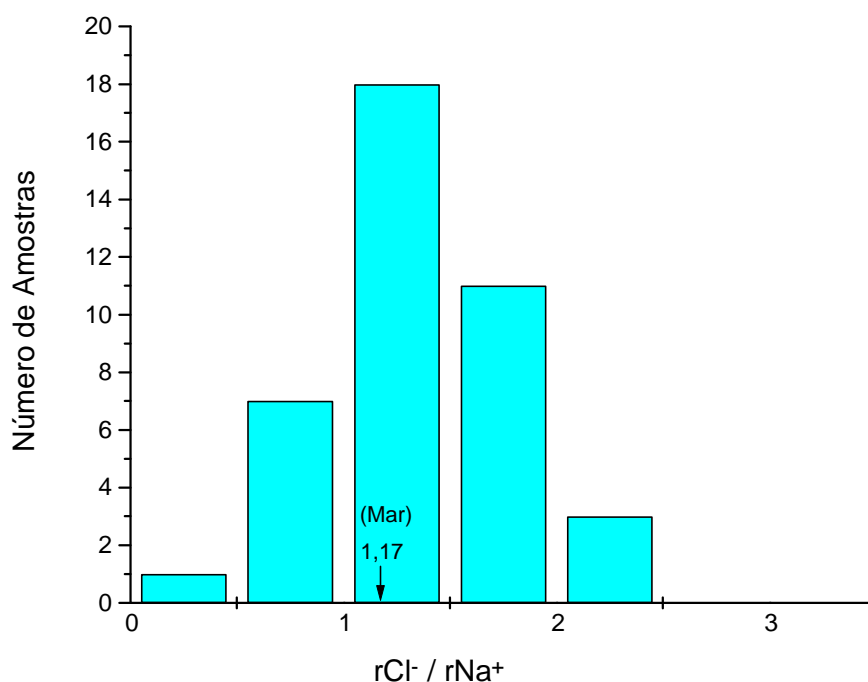


Figura 3 – Histograma das razões $r\text{Cl}^- / r\text{Na}^+$

Porém, com a química somente não pode-se excluir outra origem possível para a ocorrência de águas cloretadas sódicas nos sistemas aquíferos costeiros que é a mistura com água do mar ocasionada pelo rompimento da interface água doce/água salgada, devido ao intenso bombeamento dos poços que exploram esse manancial sem o controle dos parâmetros hidrogeológicos.

Para identificar este processo, utilizou-se as medidas dos traçadores isotópicos naturais oxigênio-18 e deutério, juntamente com a salinidade, expressa pela condutividade elétrica.

Conforme mostra a tabela 1, os valores de $\delta^{18}\text{O}$ e δD encontrados nas águas analisadas variaram, respectivamente, de $-3,62\text{‰}$ a $-1,71\text{‰}$ e de $-31,92\text{‰}$ a $-1,25\text{‰}$, e os valores de condutividade elétrica estão na faixa de $170\text{ }\mu\text{S/cm}$ a $4400\text{ }\mu\text{S/cm}$.

A figura 4 mostra a relação entre os parâmetros $\delta^{18}\text{O}$ e condutividade elétrica. É importante frisar que a água do mar tem $\delta^{18}\text{O} \approx 0$, valor este que se encontraria na escala apresentada na figura, bastante distante e acima. Uma comparação dos valores das amostras com o valor médio ponderado de chuvas da região que é de aproximadamente $\delta^{18}\text{O} \approx -3,0\text{‰}$ mostra que todas as amostras analisadas são derivadas de águas pluviais.

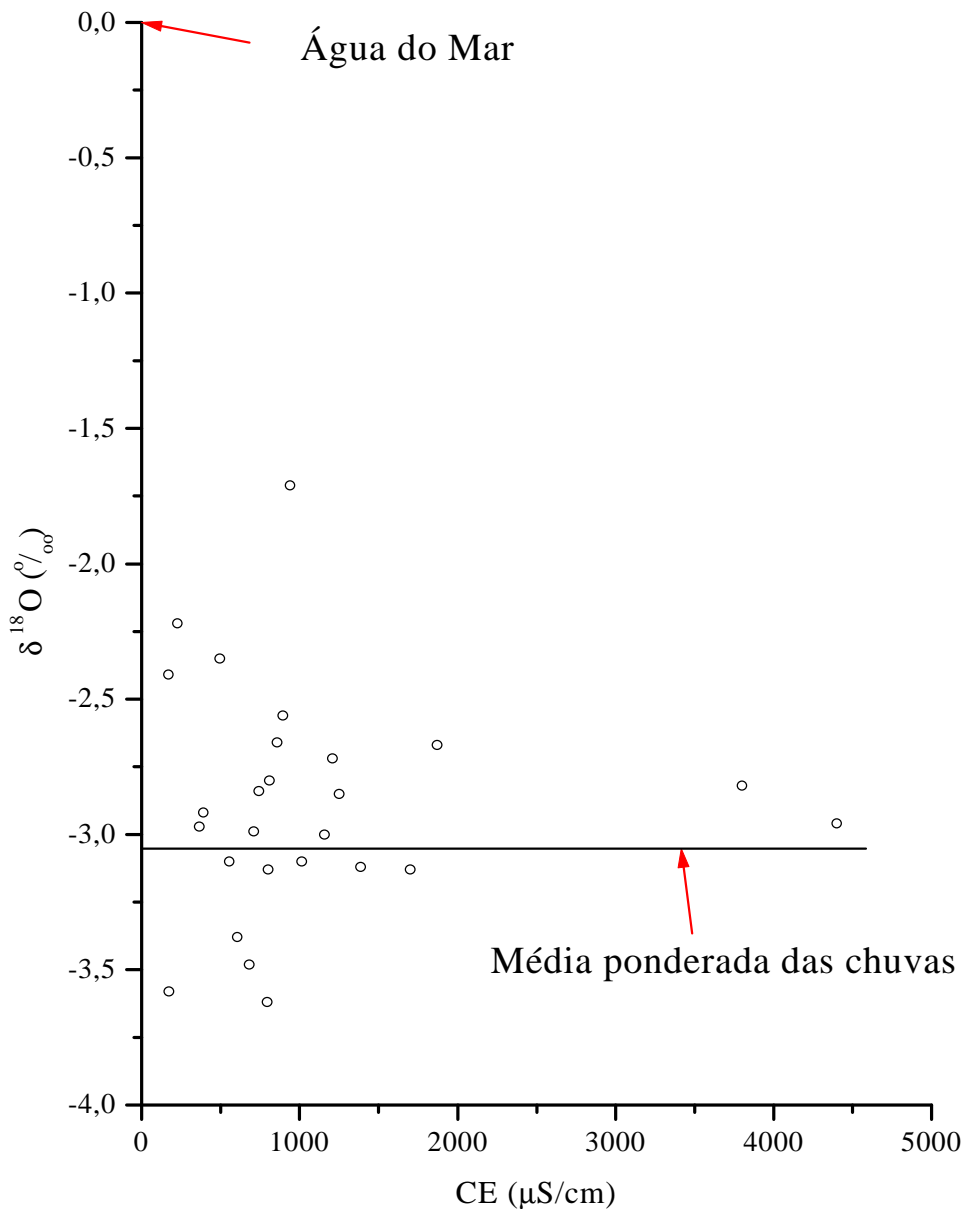


Figura 4 - $\delta^{18}\text{O}$ e condutividade elétrica das amostras analisadas em fevereiro/99.

Amostras com valores maiores, na parte superior da figura, originam de águas levemente evaporadas antes da infiltração; águas com valores menores, na parte baixa da figura têm origem em eventos pluviais torrenciais (que são marcados por valores mais negativos).

Se existisse uma mistura com água do mar responsável pela salinidade de amostras, se manifestaria, na figura 4, como correlação linear (“reta de mistura”) entre $\delta^{18}\text{O}$ e CE. O fato desta correlação não existir significa que intrusão marinha não é um processo influencia a salinidade das amostras aqui discutidas.

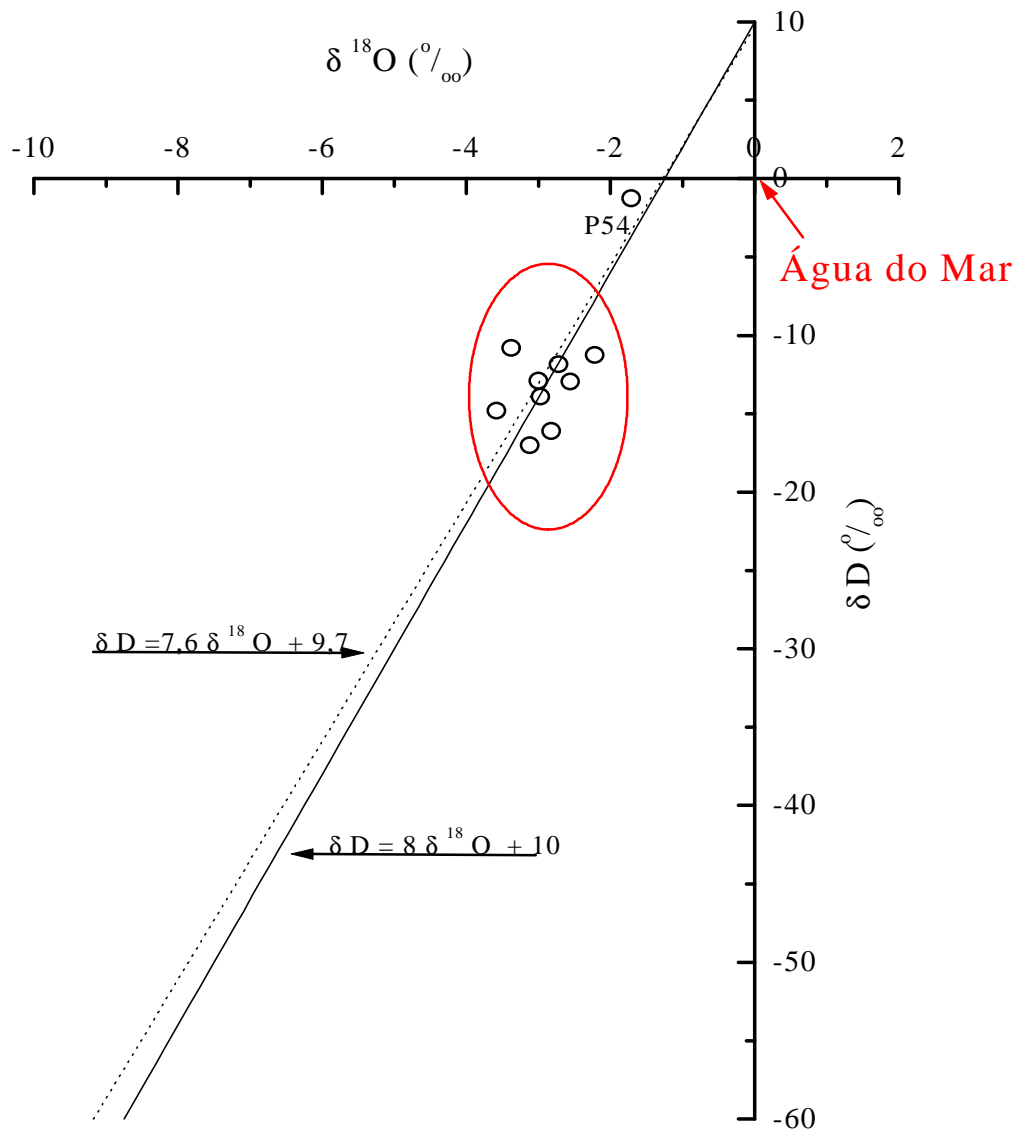


Figura 5 - δD versus $\delta^{18}\text{O}$ nas amostras coletada em fevereiro/99

A figura 5, que apresenta os valores de δD versus $\delta^{18}\text{O}$ para as amostras coletadas em fevereiro/99 juntamente com as retas meteóricas mundial ($\delta\text{D} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$) e regional ($\delta\text{D} = 7,6 \delta^{18}\text{O} + 9,7$) determinadas respectivamente, por Craig (1961a) e Salati (1971), pela localização dos pontos próximos às duas retas também evidencia águas pouco evaporadas antes da infiltração e a ausência de água do mar (que marca a origem das escalas)

CONCLUSÕES

As análises químicas e isotópicas das águas subterrâneas dos sistemas aquíferos costeiros no município de Caucaia, coletadas de poços tubulares, amazonas e cacimbas, mostraram que:

- 1) As águas são, em grande maioria, do tipo cloretada sódica e quimicamente apropriadas para consumo humano;
- 2) Os íons Na^+ e Cl^- são provenientes do processo natural de deposição de aerossóis ou de maresia;
- 3) As medidas dos isótopos ambientais oxigênio-18 e deutério mostram que não há presença significativa de água do mar, ou seja, que até o momento não ocorreu contaminação dos aquíferos costeiros pela intrusão da cunha salina;
- 4) Os poços com os mais elevados valores de cloretos exploram água do cristalino mostrando a contribuição de outros processos de salinização neste tipo de armazenamento
- 5) O sistema estudado não mostrou interferência de processos antrópicos na composição química das águas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação Cearense de Amparo à Pesquisa – Funcap, à Fundação do Meio Ambiente da Prefeitura Municipal de Caucaia, à Companhia de Águas e Esgotos do Ceará – Cagece, ao Laboratório de Ecologia Isotópica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA/da pessoa do Dr. Plínio Camargo e à Universidade Federal do Ceará – UFC pelo apoio recebido.

BIBLIOGRAFIA

- AGUIAR, R.B. – Impactos da ocupação urbana na qualidade das águas subterrâneas na faixa costeira do município de Caucaia – Ceará. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 1999.93p.
- BRANDÃO, R.L.– Sistema de Informações para Gestão e Administração Territorial da Região Metropolitana de Fortaleza – **Projeto SINFOR**: Mapa Geológico da Região Metropolitana. Texto Explicativo: CPRM, 1995, 34p.
- CETESB – 1993 – Legislação: água para consumo humano – Potabilidade – Fluoração. Séries Documentos. São Paulo. 67p.

- CRAIG, H. – Standard of reporting concentrations of deuterium and oxygen-18 in natural waters. **Science**, 1961. 133:1833-1834.
- FREIRE, C.; FRISCHKORN, H.; TORQUATO, J.R.F. e SANTIAGO, M.M.F.– Algumas características isotópicas e químicas dos aquíferos superficiais e profundos da região de Iguatu –Ce. **Revista Brasileira de Geociências**. 1983. v12(4): 253 - 262.
- GONFIANTINI, R. – The δ -notation and the mass-spectrometric measurement techniques. P35-84. In: Stable Isotope Hydrology. **Technical Reports Series**. Nº 20. Ed. IAEA, Vienna, 1981.339p.
- LARAQUE, A– Compartments hydrochimiques de “açude” do nordeste brasileiro semi-árido. **Tese de Doutorado**, Universidade de Montpellier. 1991, 325p.
- LIMA, C.H.; SANTIAGO, M.M.F.; FRISCHKORN, H.– Medidas hidroquímicas e estudo da salinização das águas nos Inhamuns. **Anais do IX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**. 1996. p 72-74.
- MOREIRA-NORDMAN, L.M.; FERREIRA, C.; MAGALHÃES, L.A.; MELO, W.Z.; SILVA FILHO, E.; PANITZ, C.M.N.; SANTIAGO, M.M.F. e SOUZA, C.F.– Rain water chemistry in the coast of Brazil. **International Conference on Global and Regional Environmental Atmospheric Chemistry**. China, 3 a 10/5/1989.
- REBOUÇAS, A.C. – Le problème de l’eau dans zone semi-áride du Brésil. **Tese de Doutorado**, Universidade Louis Pasteur de Strasbourg. 1973. 291p.
- SALES NETO, P.; SANTIAGO, M.M.F. e MENDES FILHO, J.– Hidroquímica do Baixo Jaguaribe. **Anais do IX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**. 1996. p 81-83.
- SANTIAGO, M.M.F.– Mecanismo de salinização em regiões semi-áridas. Estudo dos açudes Pereira de Miranda e Caxitoré, no Ceará. **Tese de Doutorado**, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1984. 176p.
- SIQUEIRA, H.B.; TORQUATO, J.R.F.; SANTIAGO, M.M.F; e FRISCHKORN, H.– Contribuição ao estudo isotópico e químico dos aquíferos da região de Frecheirinha – Ceará. **Revista Brasileira de Geociências**. 1982. v12(4): 546-552.
- SOUZA, M.J.N de – O Estado do Ceará: Geomorfologia ambiental e problemas conservacionistas. **Tese para concurso de professor titular**. Departamento de Geociências. Universidade Federal do Ceará. 1983.
- VIEIRA, A.T.; AGUIAR, R.B. e SANTIAGO, M.M.F.– Qualidade da água subterrânea na faixa costeira oeste do Estado do Ceará. **Anais do III Simpósio de Hidrogeologia do Nordeste e I Hidroroc do Brasil**. 1998. p 116 - 123.