

ASPECTOS FÍSICO-QUÍMICOS ASSOCIADOS À RECARGA DO SISTEMA DUNAS/PALEODUNAS, FORTALEZA-CE

Sônia Maria Silva Vasconcelos¹, Marlúcia Freitas Santiago² e Aldo da Cunha Rebouças³

Resumo – Poços na região de dunas/paleodunas no município de Fortaleza-CE são utilizados para abastecimento público. Caracterizou-se hidroquimicamente estas águas e acompanhou-se as concentrações iônicas, de dois poços sendo um deles jorrante, para identificar a recarga natural e a ação antropogênica no sistema aquífero.

Abstract – Water samples from well in the dunes/paleodunes area of Fortaleza-CE, which are used for public water supply were characterized by hydrochemistry. Two wells, one of them freely flowing, were monitored monthly in order to identify natural recharge and anthropogenic influences on the aquifer.

Palavras-chave – água subterrânea, dunas, qualidade de água.

¹ Departamento de Geologia da UFC, Tel.: (085)288-9867, Fax: (085)287-7012 e E-MAIL: smaria@ufc.br.

² Departamento de Física da UFC, Tel.: (085)288-9913, Fax: (085)287-4138 e E-MAIL: marlucia@ufc.br.

³ Instituto de Geociências da USP, Tel.: (011)818-4146, Fax: (011)818-4207.

INTRODUÇÃO

O sistema dunas/paleodunas representa o mais importante manancial subterrâneo da região metropolitana de Fortaleza e exerce uma função estratégica, segundo conceituação de Rebouças (1996), constituindo-se uma alternativa para complementar o abastecimento de água da cidade em situações de crise. O aquífero se estende por toda a região litorânea do município de Fortaleza. Na porção nordeste do município, se estende do litoral norte até o Rio Cocó em cujas margens existe uma área de preservação denominada Parque do Cocó onde estão localizados os poços estudados.

As águas armazenadas neste sistema foram caracterizadas do ponto de vista hidroquímico e observadas, durante o período de um ano, através de análises físico-químicas com o objetivo de verificar as variações relacionadas à recarga direta, em analogia com o que ocorre com as águas superficiais, como foi observado por Bhangu e Whitfield (1997). Estas variações foram acompanhadas através das concentrações dos íons maiores na água de um poço jorrante e de um poço cuja água foi coletada por bombeamento.

CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA E GEOLÓGICA DA ÁREA

A área estudada (Figura 1) é constituída de areias de praia, dunas móveis, dunas fixas por vegetação e de uma estreita faixa de aluviões. Todas estas feições, incluídas no domínio geomorfológico denominado planície litorânea (Moreira e Gatto, 1981; Souza, 1988, 1989), são formadas por materiais elásticos, predominantemente areias de granulação média a fina, podendo apresentar intercalações de lentes de argila, especialmente nas regiões de relevo mais baixo. De modo geral, a granulometria encontrada neste sistema apresenta um diâmetro efetivo de 0,17 mm e um coeficiente de uniformidade de 2,12 (Vasconcelos, 1999). Este último valor, por ser inferior a 5, caracteriza areia muito uniforme.

O município de Fortaleza apresenta clima quente com regime de chuvas distribuídas em dois períodos bem definidos, um seco e outro chuvoso. A estação chuvosa tem início em janeiro, estendendo-se até meados de julho e, neste período, a precipitação ocorre entrecortada e de curta duração. A estação seca prolonga-se de julho até dezembro verificando-se, no mês de novembro, o registro do menor índice de precipitação. A temperatura média anual em Fortaleza é de 26,8° C com médias mensais oscilando entre 27,5° C em dezembro e 26,1° C em julho, sendo a amplitude térmica de 1,4° C. A maior frequência de temperaturas máximas situa-se entre 31 e 32°C (Brandão, 1995).

METODOLOGIA

Para a caracterização hidroquímica das águas armazenadas neste sistema, foram utilizadas análises físico-químicas realizadas em amostras coletadas durante a perfuração de uma bateria de 32 poços pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE/PLANAT, 1977).

Para acompanhar as características físico-químicas da água subterrânea foi feita uma amostragem sistemática, com frequência mensal. As amostras foram coletadas em um poço surgente, por condicionamento topográfico, e em outro poço, através de bombeamento. Desta forma, foram coletadas a cada mês duas amostras para análise físico-química durante o período de um ano, de setembro de 1995 a setembro de 1996.

As análises químicas foram realizadas no laboratório da CAGECE. Dureza, concentração dos íons Ca^{++} , Mg^{++} , Cl^- e oxigênio consumido foram determinados por titulação; concentração dos íons de sódio e potássio no fotômetro de chama; concentração dos íons sulfato, de ferro, de alumínio, nitrato, nitrito e amônia no espectrofotômetro; e concentração do íon de manganês e, às vezes, ferro, por absorção atômica.

Figura 1 – Localização da área estudada.

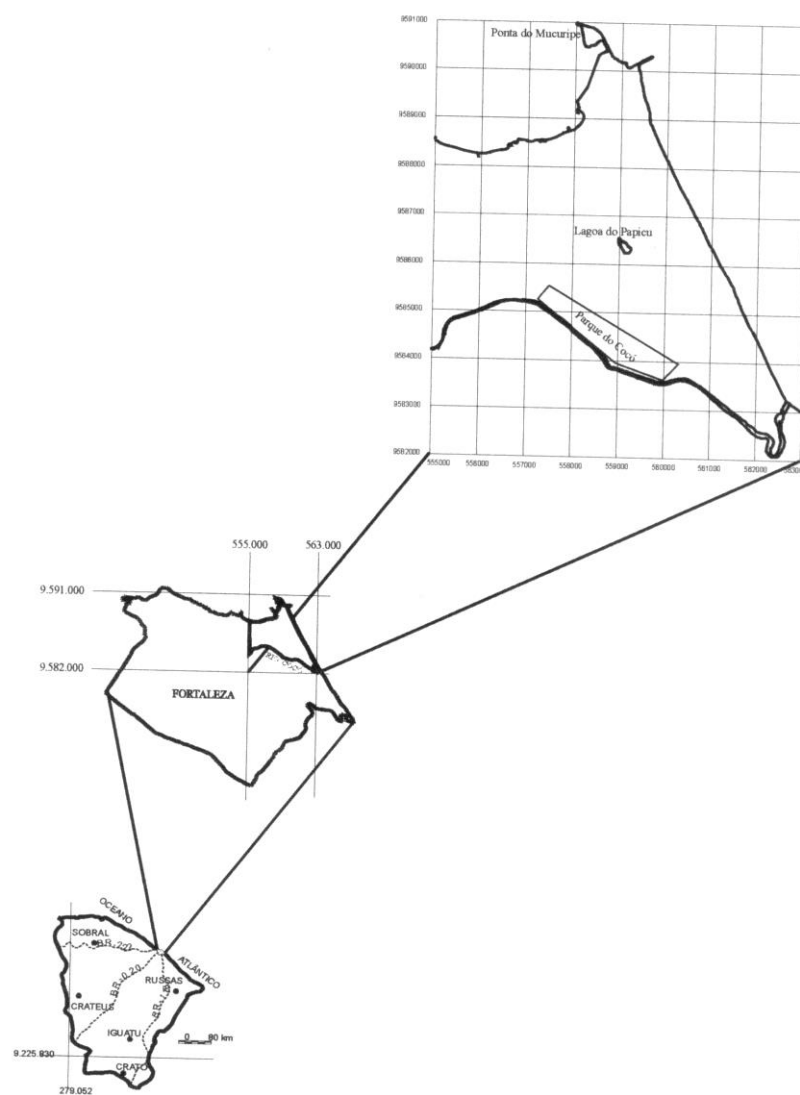


Figura 1 - Localização da área estudada.

HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS DO SISTEMA AQÜÍFERO

A tabela 1 apresenta os resultados das análises físico-químicas de águas de 32 poços da CAGECE. Destas análises, somente 19 tem erro inferior a 15%. Além dos resultados apresentados na tabelas 1, foram determinadas as concentrações de CO_3^{2-} , OH^- , NH_4^+ e Mn^{+2} que foram nulas para todas as amostras.

Estas análises foram utilizadas para classificação hidroquímica das águas do sistema dunas/paleodunas através do diagrama de Piper (Figura 2). Observa-se, como esperado, para o litoral, a tendência geral de encontrar águas do tipo cloretadas sódicas a mistas, pois a composição química das águas superficiais e subterrâneas está relacionada com a água de recarga, no caso, influenciada pela proximidade do oceano, e com os processos responsáveis por mudanças de concentrações de sais, tais como a evapotranspiração.

Principalmente em regiões litorâneas, ocorre aporte de sais, como aerossóis de deposição seca aerotransportados e de deposição úmida, conduzidos de forma diluída nas águas de precipitações. Rebouças (1973) mostrou, através de análises físico-químicas de águas de chuva, que sais originários dos oceanos são aerotransportados e depositados continuamente na região Nordeste sendo uma das fontes responsáveis pelo conteúdo salino das águas, especialmente da costa. Análises de águas de chuva de Fortaleza a Pentecostes, localizado a cerca de 90 km da costa, feitas por Santiago (1994) mostraram a seguinte dependência da concentração de cloretos com a distância à costa:

$$\text{Cl}(\text{mg/L}) = 5,29 \exp(-0,019x/\text{km}) \text{ onde } x \text{ é a distância em quilômetros.}$$

A tabela 2 e as figuras 3 e 4 mostram as variações das concentrações iônicas individuais e a sazonalidade das precipitações nos dois locais amostrados. Na água coletada através de bombeamento (Figura 3), observa-se leve diferença entre as concentrações iônicas antes e após o período de precipitações no sentido de uma redução de concentração, excetuando-se o íon nitrato que varia para valores mais altos. Este comportamento não se verifica na água do poço surgente (Figura 4), onde as concentrações iônicas se mantêm aproximadamente constantes.

Na água coletada por bombeamento, observam-se picos de concentração dos íons de cloro e sódio em janeiro, de magnésio em fevereiro e dos íons sulfato e nitrato no mês de julho. As variações de concentração dos íons de cloro e sódio podem estar associadas a um maior conteúdo em sais carregados nas primeiras precipitações. A defasagem dos outros íons reflete processos mais lentos de aumento de magnésio, sulfato e nitrato, que especialmente no caso dos nitratos, está associado à poluição ocasionada por fontes tais como fossas sépticas e depósitos de lixo.

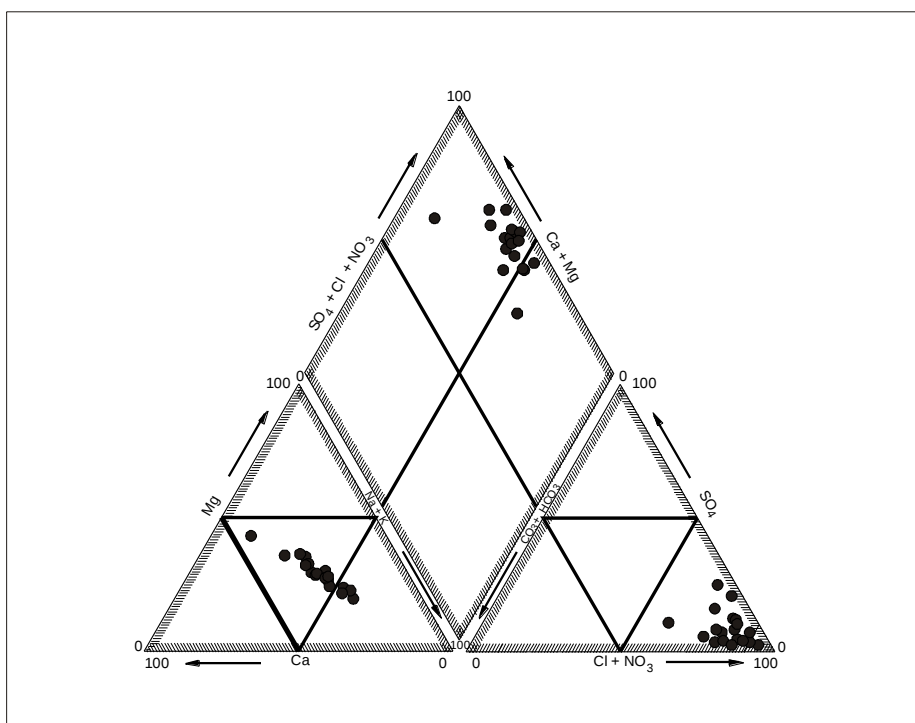


Figura 2 – Diagrama de Piper.

Na água do poço surgente, registra-se um aumento na concentração do íon de cloro em setembro/95 e um pico de concentração do íon de sódio associado às primeiras precipitações em fevereiro/96, portanto não coincidentes. Verifica-se ainda uma alta concentração de nitrato nos meses de julho e setembro/96, após o período de precipitações, comportamento idêntico ao apresentado pela água coletada por bombeamento. Consta-se que as águas coletadas no poço surgente apresentam conteúdos de sólidos totais (Figura 5) significativamente inferiores àqueles apresentados pelas águas coletadas por bombeamento. Observa-se variação na água bombeada, enquanto que na água do poço surgente o STD permanece aproximadamente constante. A água coletada por bombeamento apresenta uma significativa variação de 340 mg/L para 190 mg/L, que é o valor para a água coletada no poço surgente. Este fato parece indicar que, no período seco, há um processo de precipitação de sais que gera uma variação gradacional crescente do teor salino, do topo para a base do sistema aquífero. Esta variação gradacional desaparece quando a água de recarga é adicionada ao sistema.

O mesmo comportamento é mostrado pelas medidas de condutividade elétrica que permanecem em torno do patamar de 320 $\mu\text{S}/\text{cm}$, para a água do poço surgente (Figura 6) e que varia de 598 para 325 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na água coletada por bombeamento (Figura 7), com a infiltração da água de precipitação.

Tabela 1 - Análises físico-químicas das águas do Parque do Cocó.

Poço	Data	T (°C)	Cond.elét. (microS/cm)	pH	Concentrações em mg/L				Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	Fe ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	STD
					HCO ₃ ⁻	CaCO ₃	Ca ⁺²	Mg ⁺²						
1	21/03/77	25	650	6,2	10	176	35,2	21,12	46	14	0,24	0,10	105,5	341,34
2	07/03/77	25	400	5,5	6	94	18,4	13,52	36	6	0,20	0,10	125,0	261,20
3	04/03/77	25	500	5,5	10	84	16,8	10,08	37	8	0,40	0,10	125,0	256,20
4	04/03/77	25	500	4,5	6	78	15,2	9,60	43	4	1,00	0,10	125,0	251,10
5	02/03/77	25	400	4,5	4	78	15,2	9,60	40	2	0,40	0,05	35,0	155,45
6	02/03/77	25	450	5,3	4	98	19,2	12,00	44	2	0,20	0,20	35,0	179,40
7	28/02/77	25	500	7,1	8	54	9,6	7,20	40	9	0,40	0,10	36,0	139,50
8	28/02/77	25	500	6,7	10	66	14,8	8,16	44	9	0,30	0,05	40,0	160,60
9	26/02/77	25	500	6,8	14	82	16,0	10,08	48	7	0,30	0,10	45,0	183,00
10	26/02/77	25	700	6,9	12	76	15,2	9,12	7	7	0,30	0,10	38,0	170,10
11	24/02/77	25	700	6,9	10	80	16,0	9,60	47	8	2,00	0,10	6,0	143,50
12	24/02/77	25	600	7,0	14	56	11,2	6,72	53	9	1,00	0,05	10,0	130,50
13	22/02/77	25	600	7,0	10	74	15,2	8,64	53	3	0,20	0,05	52,0	183,20
14	22/02/77	25	600	6,7	8	76	15,2	9,12	43	3	0,20	1,10	98,0	240,20
17	29/02/77	25	400	6,7	6	90	18,4	10,56	41	5	0,40	0,05	40,0	176,45
18	19/02/77	25	490	6,9	6	96	19,2	11,52	38	6	0,20	0,05	36,0	176,30
19	18/02/77	25	350	5,5	4	50	9,6	6,24	42	32	0,20	10,00	35,0	169,40
20	18/02/77	25	450	4,8	2	84	16,8	10,08	36	28	2,00	0,05	70,0	220,00
21	14/02/77	25	400	4,5	6	68	13,6	8,16	33	18	0,32	0,20	88,0	207,52
22	14/02/77	25	400	5,0	4	70	14,4	8,60	41	12	0,20	0,20	98,0	221,40
23	14/02/77	25	450	5,5	10	80	16,0	9,60	40	9	0,28	0,40	61,0	130,68
24	21/01/77	25	500	5,5	10	56	11,2	6,72	50	7	0,32	2,00	97,0	212,32
25	28/01/77	25	500	4,8	6	76	13,6	10,08	26	30	0,64	0,40	105,0	238,04
26	19/01/77	25	400	5,5	4	64	12,8	7,63	27	13	0,24	0,50	38,0	112,75
28	20/01/77	25	500	5,5	12	76	15,2	9,12	49	19	0,32	1,50	180,0	325,82
29	11/01/77	25	400	5,2	8	110	21,6	13,44	49	18	0,20	0,90	2,0	180,10
30	19/01/77	25	500	5,0	8	80	16,0	10,20	31	16	0,36	2,50	37,0	166,86
31	11/01/77	25	200	5,5	8	58	11,2	7,20	29	12	0,24	2,00	1,0	102,24
32	23/12/76	25	350	6,0	6	90	17,6	11,04	39	3	0,20	4,00	0,0	136,20
33	19/01/77	25	500	4,8	6	90	17,6	11,04	56	18	0,25	0,70	85,0	249,29
34	11/01/77	25	400	5,6	14	100	20,0	12,00	44	16	0,28	0,90	1,5	162,68
35	23/12/76	25	500	6,0	20	72	14,4	8,64	56	14	0,16	1,00	0,0	143,16

Tabel 2 - Análises físico-químicas . Concentrações em mg/L.

a) Água bombeada.

Data	Cond.	pH	Ocons.	HCO ³⁻	CaCO ₃	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	Fe	Mn ⁺²	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₃ ⁻	Al ⁺	STD
27/09/95	512	6,43	2,8	26	190	36,8	23,50	96	19	164	30,40	0,21	0,02	0,14	12,80	0,12	0,19	307
31/10/95	507	5,87	2,0	16	120	22,4	15,36	78	18	96	33,78	0,16	0,02	0,20	2,50	0,07	0,09	304
28/11/95	557	6,02	1,5	15	126	24,0	15,80	80	20	97	34,90	0,24	0,04	0,27	20,00	0,05	0,23	334
02/01/96	551	6,03	2,5	23	132	26,4	15,84	64	19	102	15,46	0,24	0,00	0,14	21,80	0,06	0,23	331
06/02/96	578	6,05	3,8	24	130	34,4	10,56	152	22	102	38,48	0,16	0,06	0,12	21,50	0,15	0,16	347
05/03/96	290	5,42	2,2	5	98	16,8	33,60	58	12	87	24,00	0,19	0,03	0,07	7,00	0,22	0,28	174
02/04/96	398	6,30	2,0	7	96	8,0	18,20	58	10	71	26,00	0,07	0,01	0,12	6,60	0,15	0,22	239
07/05/96	401	5,51	2,4	5	84	16,8	10,08	51	11	64	28,20	0,19	0,03	0,10	16,80	0,10	0,18	241
04/06/96	383	5,38	3,5	4	76	17,6	7,68	66	12	70	20,00	0,16	0,08	0,06	15,20	0,07	0,13	230
02/07/96	395	5,58	2,2	6	88	18,4	10,00			78	35,00	0,10	0,09	0,16	43,68	0,02	0,13	237
07/08/96	469	5,26	3,2	6	100	22,4	10,50	80	16	81	31,50	0,16	?	0,31	2,10	0,02	0,06	281
03/09/96	471	5,31	1,6	6	114	21,6	14,40	76	13	94	28,00	0,19	?	0,18	54,97	0,05	0,26	283

b) Água do poço surgente

Data	Cond.	pH	Ocons.	HCO ³⁻	CaCO ₃	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	Fe	Mn ⁺²	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₃ ⁻	Al ⁺	STD
27/09/95	267	5,87	1,2	15	54	4,0	10,50	80	8	154	3,69	0,16	0,09	0,16	6,40	0,07	0,05	160
31/10/95	307	5,14	1,5	8	50	4,0	9,60	70	10	86	6,89	0,19	0,14	0,18	7,60	0,07	0,04	184
28/11/95	330	5,91	1,3	10	44	4,0	8,16	71	10	79	0,00	0,10	0,03	0,20	5,40	0,05	0,05	198
02/01/96	311	5,68	1,8	10	52	3,2	10,56	62	8	83	5,37	0,19	0,00	0,14	5,60	0,05	0,10	187
06/02/96	315	5,30	2,8	10	24	4,0	3,36	144	11	81	6,05	0,21	0,03	0,14	4,30	0,12	0,08	189
05/03/96	310	6,74	2,4	14	38	4,8	6,24	62	10	83	1,51	0,16	0,07	0,07	3,60	0,07	0,16	186
02/04/96	332	7,05	2,5	8	48	3,2	9,60	62	9	84	3,02	0,05	0,08	0,14	4,90	0,07	0,06	199
07/05/96	327	5,55	3,3	10	30	3,2	5,28	59	11	73	6,05	0,30	0,09	0,16	11,20	0,07	0,15	196
04/06/96	324	5,77	4,8	6	72	2,4	15,84	76	10	85	8,50	0,16	0,15	0,16	7,60	0,07	0,02	194
02/07/96	325	5,69	2,0	8	40	5,6	6,24			87	13,00	0,13	0,05	0,16	42,75	0,02	0,02	195
07/08/96	325	5,61	2,5	8	46	4,0	8,64	80	13	87	6,00	0,13	0,00	0,22	7,60	0,02	0,02	195
03/09/96	336	5,61	0,0	8	36	4,0	6,24	74	10	86	2,50	0,13	0,00	0,16	26,58	0,05	0,02	202

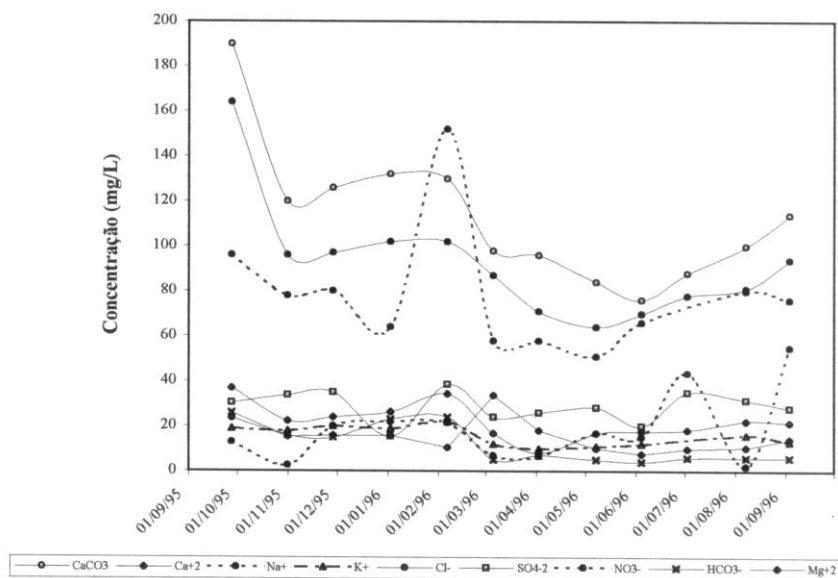
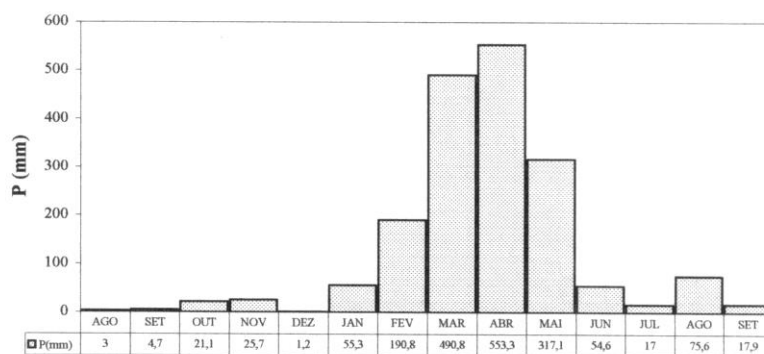


Figura 3 – Precipitação e concentrações de ions maiores e de CaCO₃ na água bombeada, de 09/95 a 09/96.

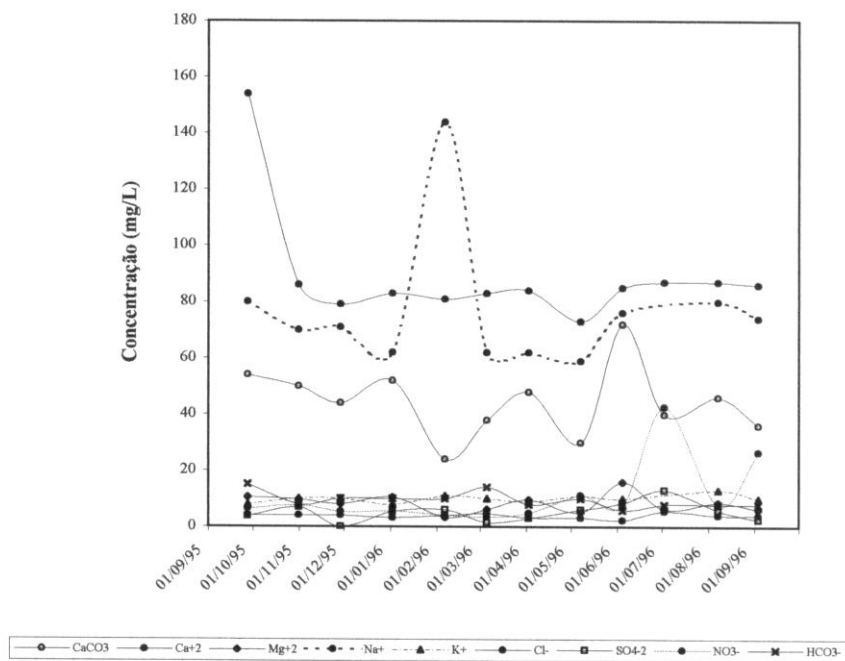
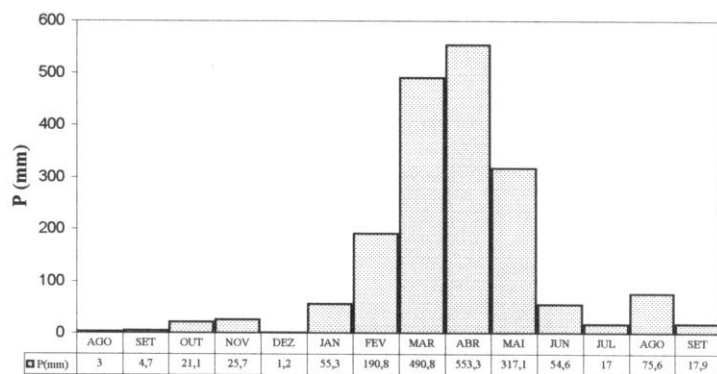


Figura 4 - Precipitação e concentrações de ions maiores e de CaCO₃ na água do poço surgente, de 09/95 a 09/96.

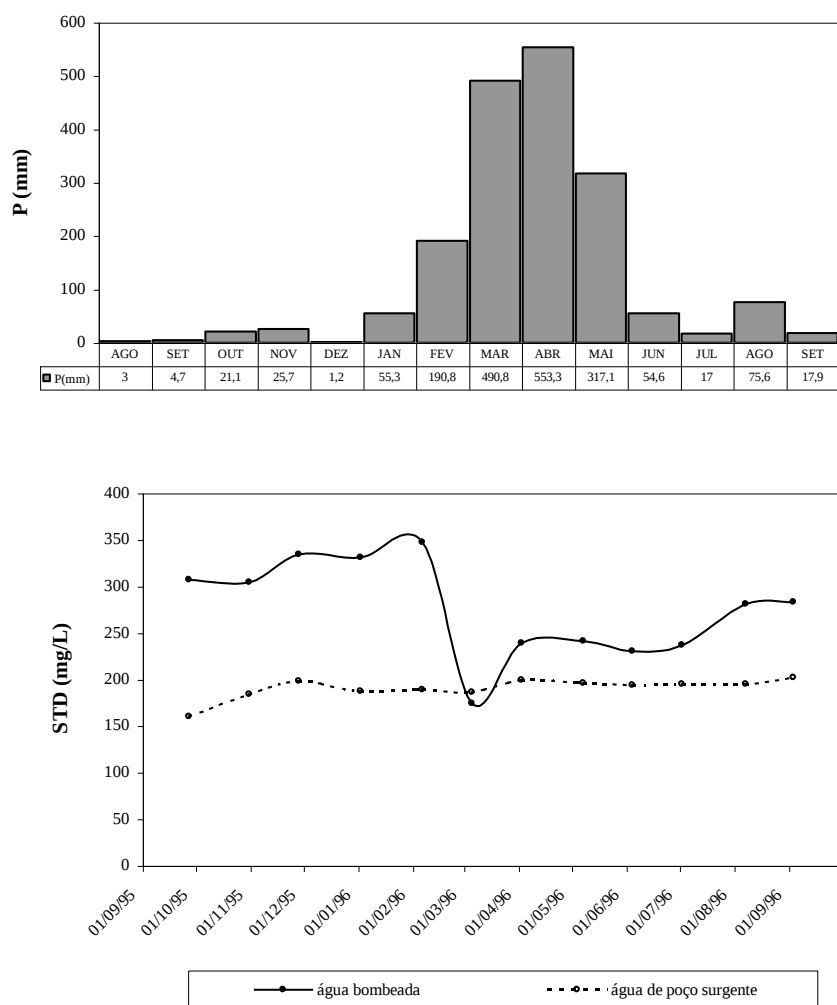


Figura 5 – Precipitação e sólidos totais dissolvidos, de 09/95 a 09/96.

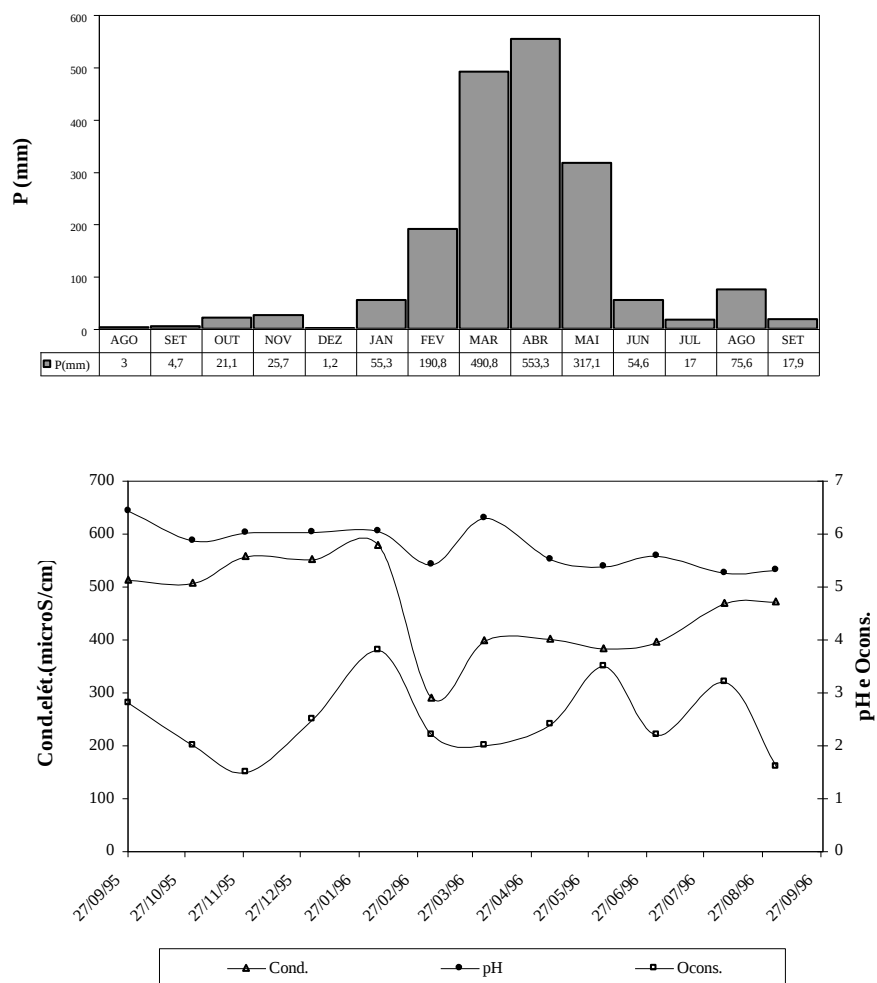


Figura 6 – Precipitação, condutividade elétrica, pH e oxigênio consumido para a água bombeada, de 09/95 a 09/96.

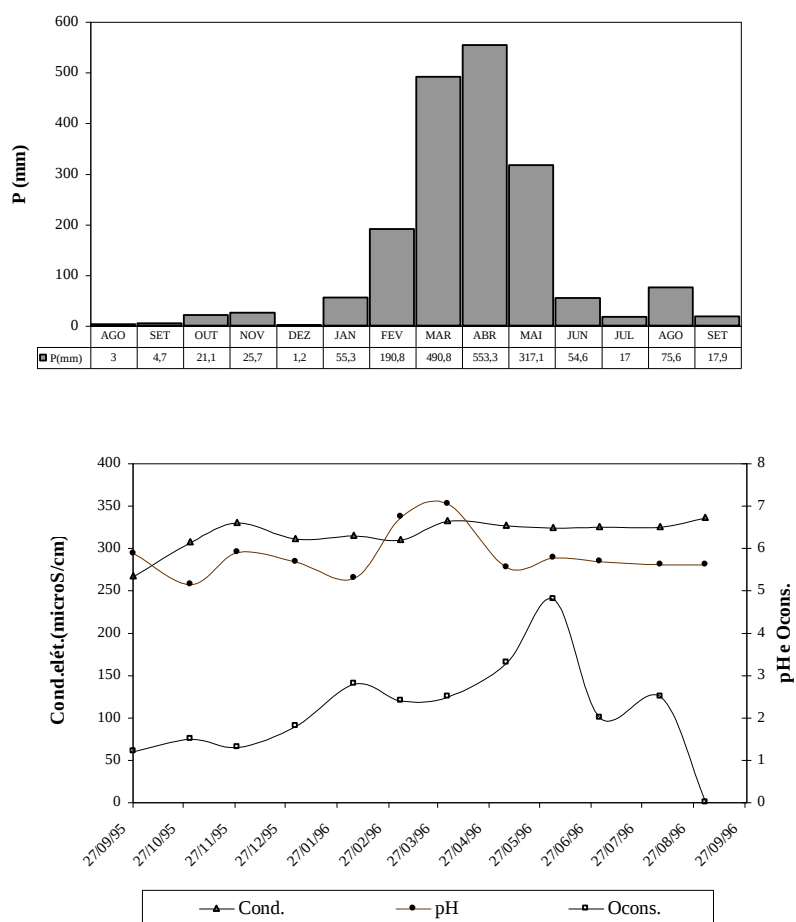


Figura 7 - Precipitação, condutividade elétrica, pH e oxigênio consumido para a água do poço surgente, de 09/95 a 09/96.

No período de chuvas, observa-se variação positiva do pH na água do poço surgente e na água coletada por bombeamento. As medidas de oxigênio consumido nos dois poços apresentam uma variação cíclica sem aparente relação com o período de precipitações mas levemente relacionadas com as variações nas concentrações de nitrato.

Do ponto de vista de utilização para abastecimento humano as concentrações dos íons maiores e de CaCO_3 estão abaixo dos limites recomendáveis. Por isso, as águas do aquífero dunas/paleodunas podem ser consideradas como de boa qualidade.

CONCLUSÕES

Estes dados mostram que o sistema aquífero não está comprometido hidroquimicamente, embora apresente alguns valores de NO_3^- acima do aconselhável, mesmo sendo vulnerável pela rápida resposta à realimentação durante o período chuvoso.

O processo natural de recarga do sistema aquífero provoca uma diluição dos sais concentrados em profundidade reduzindo a diferença de STD entre os dois poços analisados.

A vulnerabilidade do aquífero pode ser observada através das flutuações nas concentrações de NO_3^- no poço surgente e no poço bombeado, acompanhadas de flutuações na concentração de oxigênio consumido.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará pelas análises físico-químicas e pelo acesso às informações contidas em seus relatórios técnicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BHANGU, I.; WHITFIELD, P.H. Seasonal and long-term variation in water quality of Skeena River at USK british Columbia. *Water Research*. 31 (9) : 2187-2194, 1997.
- BRANDÃO, R.de L. Diagnóstico geoambiental e os principais problemas de ocupação do meio físico da Região Metropolitana de Fortaleza, Série Ord. Territ., 1, CPRM, Fortaleza, 1995. 87 p.
- CAGECE/PLANAT. Captação do Cocó - Relatório final de construção: Condições de exploração dos poços perfurados. CAGECE, circulação interna, Fortaleza, abril de 1977. 230p.
- MOREIRA, M.M.A.; GATTO, L.C.S. Geomorfologia. In: MME, Projeto RADAMBRASIL, Rio de Janeiro, 21 : 213-252, 1981.
- REBOUÇAS, A.C. Le problème de l'eau dans la zone semi-aride du Brésil, Tese de doc. ès sci, Univ. L. P. de Strasbourg, 1973. 291p.
- REBOUÇAS, A.C. Diagnóstico do Setor Hidrogeologia, PADCT – MCT: Caderno Técnico, São Paulo: ABAS, agosto de 1996. 46 p.
- SANTIAGO, M.M.F. Mecanismos de salinização em regiões semi-áridas. Estudo dos açudes Pereira de Miranda e Caxitoré no Ceará. Tese de Doutorado em Geologia Geral e de Aplicação, USP, São Paulo, 1984. 176p.

- SOUZA, M.J.N. de. Contribuição ao estudo das unidades morfológicas do Estado do Ceará, Revista de Geologia, Imp. Univ. UFC, Fortaleza, 1 : 73-91, 1988.
- SOUZA, M.J.N. de. Geomorfologia. In: SEPLAN-Ceará/IPLANCE, Atlas do Ceará, Fortaleza, 1989. p. 14-15.
- VASCONCELOS, S.M.S., 1996. Estimativa da Recarga Subterrânea a partir do Balanço Hídrico - Exemplo de Fortaleza, (CE). Revista de Geologia, Imp. Univ. UFC, Fortaleza, 7 : 27-34.