

## VI-060 – ÁGUAS SUBTERRÂNEAS COM BAIXO TEOR SALINO NO CEARÁ

### **Fernando José Araújo da Silva<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil, Universidade de Fortaleza - UNIFOR. Mestre em Engenharia, área de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba – UFPb. Professor Adjunto do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade de Fortaleza. Doutorando do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará – UFC.

### **Magda Maria Marinho de Almeida**

Química Industrial. Mestre em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal do Ceará – UFC. Técnica da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos.

### **Lúcia de Fátima Pereira Araújo**

Engenheira Química. Mestre em Engenharia Hidráulica e Ambiental pela Universidade Federal do Ceará – UFC. Professora do CEFET-CE.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Salvador Correia de Sá, 697. Sapiranga. 60833-540. Fortaleza, CE. E-mail: fjas@unifor.br

### **RESUMO**

No Ceará as águas de substrato com baixo conteúdo salino são pouco representativas. Realizou-se um estudo prospectivo em que cerca de 57% das amostras de águas de poços em bacias sedimentares a CE foi  $\leq 200$   $\mu\text{S}/\text{cm}$ , enquanto no cristalino isto ocorreu em 39% das amostras. Nos poços considerados no estudo, a profundidade média foi de 52,8 m nos do cristalino, e de 75,5 m naqueles localizados em bacias sedimentares. O valor de  $Q_e$  média nos poços em aquífero sedimentar foi 20 vezes maior que os do embasamento cristalino. Os valores médios de STD foram de 140 e 131 mg/L, para as águas de litologia cristalina e sedimentar respectivamente, enquanto a razão STD/CE foi de 0,64 e 0,69. Há correlação estatística mais significativa entre os parâmetros caracterizadores de águas do cristalino. O agrupamento de resultados das duas litologias permitiu o desenvolvimento de modelos empíricos para se estimar STD, Na e Cl, a partir da condutividade elétrica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Águas subterrâneas, Salinidade, Litologia do Ceará.

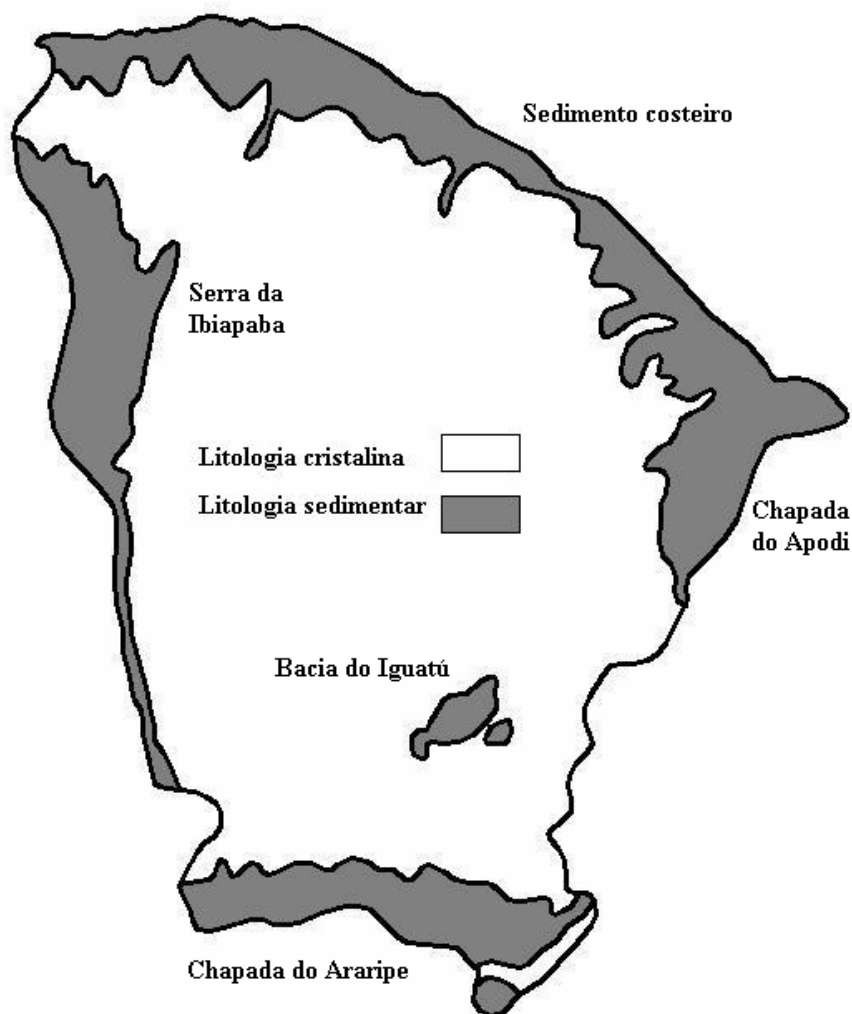
### **INTRODUÇÃO**

No estado do Ceará ( $37^{\circ}14'50''$  -  $41^{\circ}24'45''$  oeste e  $2^{\circ}46'20''$  -  $7^{\circ}52'15''$  sul) predomina a litologia de rochas cristalinas, que representa cerca de 70% de sua área (Figura 1). O armazenamento de água de substrato neste tipo litológico é limitado pela baixa condutividade hidráulica. Isto faz com que as águas apresentem concentrações salinas elevadas. No restante do estado predominam formações sedimentares, aquíferos em aluviões, e sedimento costeiro formado por sistemas dunas, paleodunas e formação barreiras (IPLANCE, 1989).

Em investigação sobre a salinidade das águas subterrâneas no Ceará DA SILVA et al. (2002) propuseram dividir o conteúdo salino em diferentes graus, com base na condutividade elétrica (CE), na dureza total (DRZ), no sódio ( $\text{Na}^+$ ) e nos cloretos ( $\text{Cl}^-$ ). Os autores ressaltaram que por razões práticas a CE deve ser o parâmetro orientador principal. Os mesmos afirmaram ainda que as águas com baixo teor de sais devem apresentar  $\text{CE} \leq 300$   $\mu\text{S}/\text{cm}$ . No embasamento cristalino cearense apenas 2,8% das águas subterrâneas foram consideradas de baixo teor salino. Em trabalho posterior DA SILVA e ALMEIDA (2004) observaram que em litologia sedimentar cerca de 1/3 das águas seriam de baixo conteúdo salino.

Nos trabalhos acima foram desenvolvidos modelos empíricos sobre a salinidade das águas através da correlação entre os diversos parâmetros iônicos constituintes. Os modelos, porém, foram restritos a faixas de CE entre 750 e 12.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para águas de poços no cristalino e de 500 a 7.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para águas de poços de bacias sedimentares. Também, a capacidade de produção de poços com águas de baixo conteúdo salino não foi abordada. Tais lacunas motivaram o presente estudo.

Figura 1: Áreas de sedimento e cristalino no Ceará.  
Fonte: IPLANCE (1989).



## METODOLOGIA

O estudo foi do tipo documental com dados referentes à investigação da CPRM (2000) e outros dados obtidos junto à Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE). Foram considerados ao todo poços localizados em 48 municípios.

A profundidade dos mananciais foi medida em 120 e 575 poços do cristalino e sedimento, respectivamente. A produtividade específica ( $Q_e = \text{vazão/rebaixamento}$ ) foi determinada em 34 e 88 poços das respectivas litologias.

Quanto aos parâmetros de qualidade, a condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos (STD), determinados como resíduo seco foram parâmetros orientadores na seleção de águas de baixo conteúdo salino. No estudo em questão, optou-se por considerar amostra com  $CE < 750 \mu\text{S/cm}$ . Foram consideradas inicialmente amostras de águas de 175 poços de litologia cristalina e 801 poços de litologia sedimentar.

Dos totais acima foram analisadas 26 amostras de cada tipo de aquífero para determinação de pH, dureza total, cálcio, magnésio, sódio, potássio, bicarbonatos, cloretos, sulfatos e nitratos. Os procedimentos analíticos seguiram os métodos descritos em APHA (1992). O erro máximo admissível para o balanço de cargas da matriz iônica das amostras foi de 10%.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os poços do cristalino apresentaram profundidade média menor que os das bacias sedimentares. Entretanto, o valor da mediana foi o mesmo nas duas litologias (Tabela 1). A produtividade específica dos poços do sedimento foi cerca de 20 vezes maior que a do embasamento cristalino. Quando se considera o valor da mediana o valor foi 10 vezes maior. Neste caso ressalta-se que o coeficiente de variação nos poços de litologia sedimentar foi o dobro do observado nos poços do cristalino.

A CE mínima observada nas águas de poços do cristalino foi de 76  $\mu\text{S/cm}$ , enquanto nas do sedimento foi de 40  $\mu\text{S/cm}$ . Importa destacar ainda que em 57% das amostras dos poços das bacias sedimentares a CE foi  $\leq 200$   $\mu\text{S/cm}$ , enquanto no cristalino esta ocorrência atingiu cerca de 39% das amostras.

**Tabela 1:** Comparação da profundidade,  $Q_e$  e CE entre poços do embasamento cristalino e sedimentar.

<i>Aqüífero</i>	<i>Parâmetro estatístico</i>	<i>Profundidade ( m )</i>	<i><math>Q_e</math> (l/m.h)</i>	<i>CE (<math>\mu\text{cm}</math>)</i>
Cristalino	Média	52,8	363	220
	Mediana	60,0	83	227
	$\sigma$	17,4	775	56
	CV (%)	32,9	214	25
Sedimentar	Média	75,5	7.928	191
	Mediana	60,0	862	194
	$\sigma$	40,2	35.020	68
	CV (%)	53,2	442	36

A estimativa do conteúdo de sólidos totais dissolvidos (STD) resultou em valores médios de 140 e 131 mg/L, para as águas de litologia cristalina e sedimentar, respectivamente. A relação STD/CE foi estimada em 0,64 e 0,69 para as respectivas litologias.

Na Tabela 2 são mostrados os resultados referentes aos parâmetros de salinidade analisados. Importa observar que, exceto para o íon  $\text{Ca}^{2+}$ , as concentrações médias dos demais parâmetros nas águas de poços do cristalino foram menores que as observadas nas águas de poços das bacias sedimentares. Diferenças maiores foram observadas em relação aos valores das medianas. Por outro lado, variações de CV nas águas do cristalino foram maiores.

Uma matriz de Pearson com  $\alpha = 0,05$  foi computada de maneira que a CE foi admitida como variável independente e os demais parâmetros variáveis dependentes. A Tabela 3 mostra os coeficientes de correlação para os diferentes pares de parâmetros, tanto para as águas de poços do cristalino, quanto para as de bacias sedimentares. Os valores de  $r$  foram mais representativos para os poços do cristalino.

**Tabela 2:** Resultados dos parâmetros de composição iônica de águas subterrâneas com baixa salinidade no Ceará.

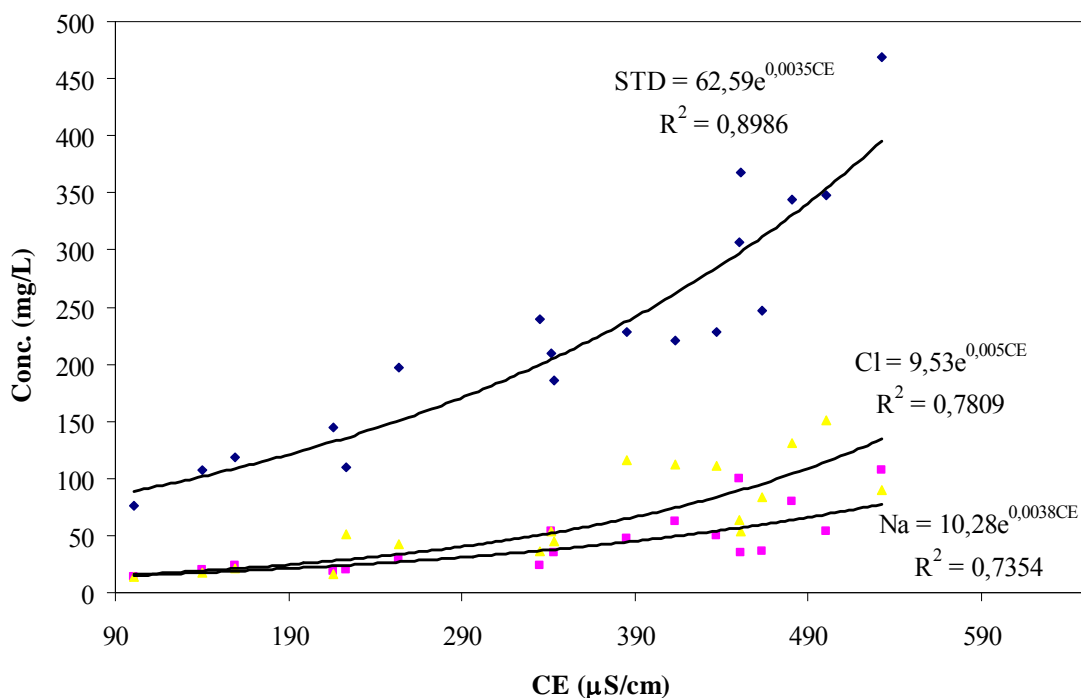
<i>Parâmetro</i>	<i>Aqüífero cristalino</i>				<i>Aqüífero sedimentar</i>			
	Média	Mediana	$\sigma$	CV (%)	Média	Mediana	$\sigma$	CV (%)
Dureza total (mg $\text{CaCO}_3/\text{L}$ )	64,5	42,0	47,1	73,0	66,4	62,0	42,9	64,6
$\text{Na}^+$ (mg/L)	27,3	23,5	12,3	45,1	62,9	54,0	27,4	43,5
$\text{K}^+$ (mg/L)	5,9	4,6	4,4	73,9	8,9	8,3	4,2	47,7
$\text{Ca}^{2+}$ (mg/L)	13,2	7,8	12,6	95,7	12,7	6,4	11,5	90,9
$\text{Mg}^{2+}$ (mg/L)	7,7	8,3	4,8	62,6	8,5	8,0	4,4	51,4
$\text{Cl}^-$ (mg/L)	48,4	36,0	44,4	91,8	85,9	90	33,1	38,5
$\text{SO}_4^{2-}$ (mg/L)	10,3	6,0	8,8	85,1	15,5	13,6	11,3	73,2
$\text{HCO}_3^-$ (mg/L)	58,6	55,9	34,3	58,6	85,7	59,3	77,4	90,4
$\text{NO}_3^-$ (mg/L)	3,44	1,47	4,18	121,55	4,84	3,64	2,82	58,3
pH	6,84	7,40	0,61	8,40	7,44	7,65	0,35	4,62

Tabela 3: Coeficientes de correlação entre CE e as demais variáveis componentes da matriz salina das águas de substrato no Ceará com baixo teor de sais.

Variável independente	Variável dependente	Coeficiente de correlação (r)	
		Cristalino	Sedimento
Condutividade elétrica	Dureza total	0,9002	0,1001
	Na <sup>+</sup>	0,8837	0,7198
	K <sup>+</sup>	0,9076	0,1157
	Ca <sup>2+</sup>	0,7597	-0,0383
	Mg <sup>2+</sup>	0,9336	0,3016
	Cl <sup>-</sup>	0,8645	0,4866
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-0,4148	0,3216
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,5747	0,4350
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	8,28E-05	0,3194

Uma simplificação a ser considerada é o agrupamento de resultados das diferentes litologias. Desta forma os resultados possuem, obviamente, representatividade limitada. A aplicação deve ser relativa apenas aos pares de parâmetros que apresentaram melhor coeficiente de correlação. A Figura 2 a CE (em  $\mu\text{m/cm}$ ) como variável independente para se estimar STD, Cl e Na (em mg/L). Deve ser destacado que o valor de STD considerado na figura foi obtido pelo balanço iônico, conforme sugere HOUNSLOW (1995). Neste caso a razão média entre STD e CE foi 0,67.

Figura 2: Variação de STD, Cl e Na em função da CE nas águas de baixo conteúdo salino no Ceará.



A Tabela 4 apresenta as razões iônicas dominantes nas amostras analisadas. As razões foram calculadas com base nas concentrações expressas em miliequivalentes/L. Os valores são orientadores e não definem elementos de conformação geológica importantes, como por exemplo, a rocha de origem (*source rock*) que influencia a composição iônica da água (ver mais em HOUNSLOW, 1995).

**Tabela 4: Razões iônicas dominantes nas águas de substrato com baixo teor salino no Ceará.**

Razão	$Mg^{2+}/Ca^{2+}$	$K^+/Na^+$	$Na^+/Ca^{2+}$	$Cl/HCO_3^-$	$Na^+/Cl$	RAS*	$HCO_3^-/Ca^{2+}$
Média	1,66	0,11	6,68	0,81	1,08	9,57	3,19
Mediana	1,20	0,11	5,29	0,77	1,01	6,96	1,72

\* RAS = razão de adsorção de sódio.

## CONCLUSÃO

Dentre os poços considerados no estudo, a profundidade média foi de 52,8 m naqueles localizados no cristalino, e de 75,5 m nos localizados em bacias sedimentares. Entretanto, a profundidade representada pela mediana foi a mesma nas duas litologias (60,0 m). O valor de  $Q_e$  média nos poços em aquífero sedimentar foi 20 vezes maior que os do embasamento cristalino.

O menor valor de CE em águas do cristalino foi de 76  $\mu S/cm$ , nas de sedimento foi de 40  $\mu S/cm$ . Em cerca de 57% das amostras de poços das bacias sedimentares a CE foi  $\leq 200 \mu S/cm$ , enquanto no cristalino isto ocorreu em 39% das amostras.

Os valores médios de STD foram de 140 e 131 mg/L, para as águas de litologia cristalina e sedimentar respectivamente, enquanto a razão STD/CE foi de 0,64 e 0,69. Quanto aos demais parâmetros apenas o íon  $Ca^{2+}$  foi maior nas águas de embasamento cristalino.

Uma matriz de Pearson ( $\alpha = 0,05$ ) mostrou coeficiente de correlação mais significativo entre as amostras provenientes de litologia cristalina. A CE foi admitida como variável independente e as demais variáveis dependentes. O agrupamento de resultados das duas litologias permitiu o desenvolvimento de modelos empíricos para se estimar STD, Na e Cl, a partir da condutividade elétrica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 18<sup>th</sup> edition. 1.100 p. American Public Health Association. Washington, DC. 1992.
2. HOUNSLOW, A. W. **Water quality data-analysis and interpretation**. Boca Raton: CRC Lewis Publishers, 387 p. 1995.
3. CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Atlas digital de recursos hídricos subterrâneos do Ceará**. 2<sup>a</sup> edição. CD-Rom. Serviço Geológico do Brasil. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas - ABAS. Fortaleza – CE. 2000.
4. DA SILVA, F. J. A. e ALMEIDA, M. M. M. Salinidade de águas subterrâneas nas bacias sedimentares do Ceará. In: **XI Simpósio Luso- Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Anais... 1 CD-rom. Natal - RN. Abril. 2004.
5. DA SILVA, F. J. A.; ALMEIDA, M. M. M. e FERNANDES, A. L. C. Hidroquímica de águas subterrâneas do cristalino no trópico semi-árido nordestino, Brasil. In: **X Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Anais... 1 CD-rom. Braga, Portugal. Setembro. 2002.
6. IPLANCE. **Atlas do Ceará**. Fundação Instituto de Planejamento do Ceará – IPLANCE. Secretaria de Planejamento e Coordenação – SEPLAN. 57 p. Fortaleza. 1989.