

**Universidade Federal do Ceará
Departamento de Física**

Isótopos ambientais na Bacia Sedimentar do Cariri

**Maria Marlúcia Freitas Santiago
Carla Maria Salgado Vidal Silva
Horst Frischkorn
Josué Mendes Filho**

Fortaleza, setembro de 2007

ÍNDICE

Índice	2
Lista de Figuras	2
Lista de Tabelas	2
1. Introdução	3
2. Interpretação dos resultados	4
3. Conclusões	7
4. referências Bibliográficas	8

LISTA DE FIGURAS

1. Localização dos poços amostrados na Bacia Sedimentar do Cariri.	4
2. δD versus $\delta^{18}O$ em águas subterrâneas do Cariri.	6
3. $\delta^{18}O$ versus condutividade elétrica, e as retas do trabalho de Santiago et al. (1996).	6
4. $\delta^{18}O$ versus condutividade elétrica, com indicação da formação geológica.	7

LISTA DE TABELAS

1. Resultados das análises isotópicas de águas subterrâneas da Bacia Sedimentar do Cariri.	5
--	---

1. Introdução

O hidrogênio e o oxigênio que fazem parte da molécula da água. Apresentam cada um deles, três formas isotópicas diferentes; o hidrogênio: ^1H , D (^2H) e T (^3H) e o oxigênio: ^{16}O , ^{17}O , ^{18}O . Por isso, a água pode ser encontrada em formas isotópicas diferentes, sendo as mais abundantes H_2^{16}O , H_2^{18}O e HD^{16}O . As abundâncias relativas (em %) médias destas três moléculas da água são, respectivamente:

$$99,73; 0,20; 0,032$$

Portanto, a quantidade de moléculas H_2^{18}O e HD^{16}O é muito pequena em relação à quantidade de moléculas H_2^{16}O , porém varia dependendo da origem da água e de processos que ocorrem durante o seu deslocamento e de seu armazenamento superficial. Assim, estas moléculas marcam a água e são usadas como traçadores para pesquisar a história da água.

Os resultados são dados em termos de $\delta\text{‰}$, definido por,

$$\delta\text{‰} = (R_a - R_p)/R_p \times 10^3$$

Onde, R_a é a razão isotópica $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ou $\text{D}/^1\text{H}$, respectivamente, da amostra e R_p seu valor para uma água padrão “VSMOW” (Viena Standard Mean Ocean Water da IAEA em Viena /Áustria).

O valor de δ mede, portanto, o enriquecimento (ou o empobrecimento, quando < 0) no isótopo pesado na amostra em relação ao padrão. É importante que, devido à grande predominância do isótopo mais leve (^1H ou ^{18}O), o δ comporta-se como uma concentração em misturas de águas de valores de δ diferentes (i.e. segue uma reta de mistura).

Os aspectos mais importantes para interpretar os dados obtidos são:

- As chuvas modernas na região apresentam valores médios ponderados em torno de $\delta^{18}\text{O}\text{‰} = -4$ e $\delta\text{D}\text{‰} = -14$.
- Paleoáguas com idade maior que ≈ 10.000 anos são marcadas por um clima mais frio no final do Pleistocênio apresentando $\delta^{18}\text{O}$ em torno de -6‰ (δD de aproximadamente -38‰).
- Águas que sofreram evaporação mostram em enriquecimento nos isótopos mais pesados e apresenta, portanto, δ significativamente elevado em relação aos das águas pluviais.

A determinação do oxigênio-18 (^{18}O) e do deutério (D) na água dá excelente contribuição no estudo do ciclo hidrológico. Relacionando estes dois isótopos, Craig (1961) observou que as águas naturais guardam uma relação do tipo $\delta\text{D} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$ e que, se águas sofrem evaporação, apresentam uma relação também linear, mas com coeficiente angular menor do que 8. Especialmente nas regiões onde as águas subterrâneas são muito salinas é possível identificar se a concentração salina decorre do processo de evaporação ou de processos internos do aquífero.

Como as águas ficam marcadas pelos isótopos, as águas subterrâneas que não evaporaram antes da infiltração guardam as características isotópicas das águas de chuva, se a infiltração não ocorre através de um reservatório superficial. Água subterrânea que recebe contribuição de reservatórios superficiais fica marcada pelo efeito (de elevação da concentração dos isótopos pesados) da

evaporação nas águas dos reservatórios. Assim, com estes isótopos é possível identificar interações água superficial/ água subterrânea.

As medidas de oxigênio-18 e de deutério foram feitas por Espectrometria de Massa no Laboratório de Física Nuclear Aplicada – Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia da Universidade Federal da Bahia. O erro das medidas é de $\pm 1 \text{‰}$ para o hidrogênio e de $\pm 0,1 \text{‰}$ para o oxigênio.

2. Interpretação dos resultados

As localizações dos pontos amostrados, para análise dos isótopos, oxigênio-18 e deutério, estão mostradas na Figura 1 e os resultados das análises estão apresentados na Tabela 1.

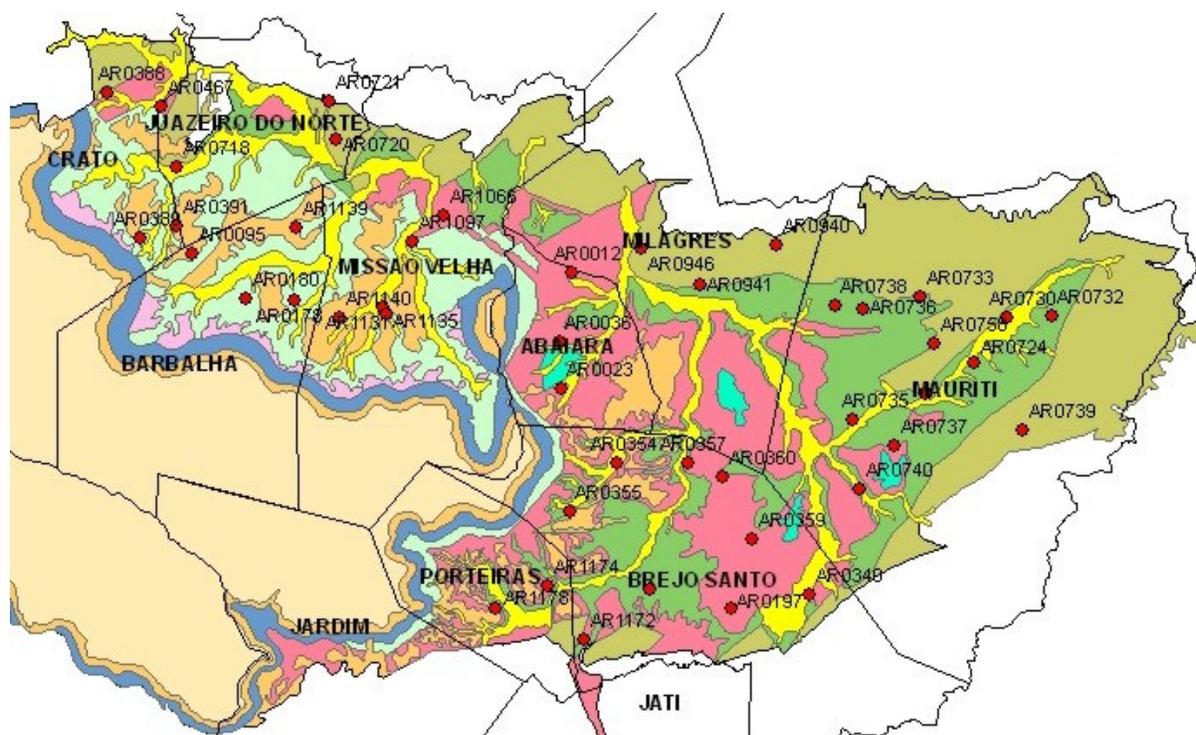


Figura 1. Localização dos poços amostrados na Bacia Sedimentar do Cariri.

Tabela 1. Resultados das análises isotópicas de águas subterrâneas da Bacia Sedimentar do Cariri.

Poço	Local	Município	Formação Geológica	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	δD (‰)	Prof. (m)	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
12	Café da Linha	Abaiara	Missão Velha	-2,7	-14,5	87	118
23	Olho d'água Comprido	Abaiara	Missão Velha	-2,7	-15,6	70	520
293	Sítio Mata – Distrito Industrial	Barbalha	R. Batateira	-3,0	-16,2	248	293
391	Santa Rosa	Crato	R Batateira	-2,9	-17,0	108	180
724	Brejo Grande	Mauriti	Brejo Santo	-4,3	-27,4	170	298
730	Gravatá	Mauriti	Brejo Santo	-4,8	-32,1	120	117
733	Lagoa Cercada	Mauriti	Brejo Santo	-3,6	-19,3	196	165
735	Lagoa Seca	Mauriti	Brejo Santo	-4,2	-26,8	178	213
737	Mandassaia	Mauriti	Missão Velha	-3,5	-20,7	90	458
740	Sítio Novo	Mauriti	Brejo Santo	-2,8	-15,4	92	1012
1066	Conj. Habitacional	Missão Velha	Missão Velha	-3,5	-18,9	72	240
1097	Escondido	Missão Velha	R. Batateira	-3,6	-19,2	90	293
1131	Juaca Rolim	Missão Velha	R. Batateira	-3,7	-19,1	120	382
1135	Canta Galo II	Missão Velha	R. Batateira	-3,3	-17,5	62	414

Os valores de $\delta^{18}\text{O}$ (‰) encontram-se no intervalo de - 4,8 a -2,7 e de δD (‰) -32,1 a -14,5 (Tabela 1). O gráfico de δD versus $\delta^{18}\text{O}$, na Figura 2, mostra duas retas; uma é a Reta Meteórica Mundial dada pela equação $\delta\text{D} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$ e a outra, a reta do ajuste linear das medidas dos poços amostrados dada pela equação $\delta\text{D} = 7,8 \delta^{18}\text{O} + 7,2$. Estas retas têm praticamente o mesmo coeficiente angular, indicando que as águas não sofreram evaporação significativa. Como o oxigênio-18 e o deutério são nuclídeos estáveis, isso indica que esses valores são representativos das águas de chuvas da época da recarga.

Em trabalho anterior feito com amostras de parte desta área, Santiago et. al. (1997), correlacionaram valores de oxigênio-18 com a condutividade elétrica de amostras de água subterrânea e obtiveram diferentes correlações lineares para diferentes tipos de armazenamento. Os autores identificaram diferentes comportamentos para as águas armazenadas na Formação Rio da Batateira, águas de mistura dos armazenamentos nas Formações Rio da Batateira e Missão Velha, águas somente da Formação Missão Velha e água armazenadas na Formação Mauriti. Como os poços amostrados não são de pesquisa e sim de exploração, as amostras podem representar mistura de água proveniente dos diferentes aquíferos.

Na Figura 3 com resultados de Santiago et al. (1997), as retas encontradas são $\delta^{18}\text{O} = - 0,002 \text{ CE} - 2,81$ ($R = - 0,83$) para amostras de mistura de águas das Formações Rio da Batateira e Missão Velha; $\delta^{18}\text{O} = - 0,009 \text{ CE} - 0,114$ ($R = - 0,97$) para águas da Formação Missão Velha e $\delta^{18}\text{O} = - 0,002 \text{ CE} - 1,73$ ($R = - 0,85$) para águas armazenadas na Formação Mauriti. Na Figura 4 estão apresentados os valores de $\delta^{18}\text{O}$ e da condutividade elétrica do presente estudo juntamente com as retas citadas.

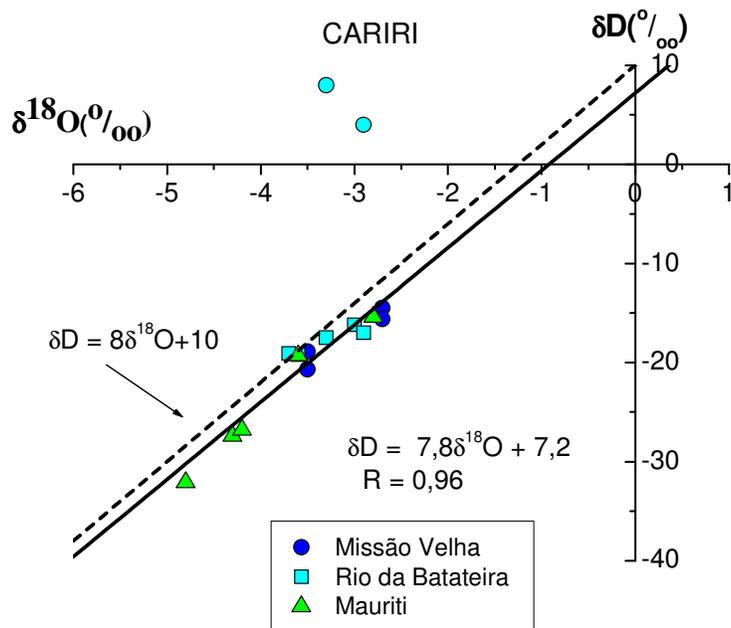


Figura 2. δD versus $\delta^{18}O$ em águas subterrâneas do Cariri.

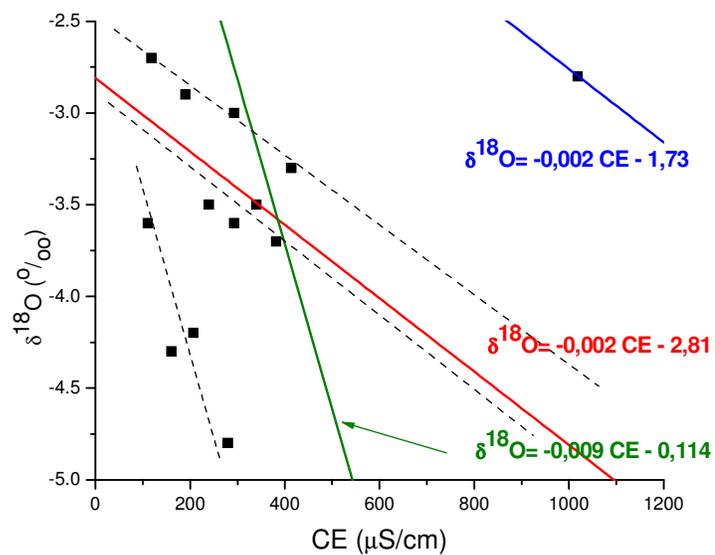


Figura 3. $\delta^{18}O$ versus condutividade elétrica, e as retas do trabalho de Santiago et al. (1996).

Estes valores isotópicos são característicos de águas recentes, de fácil renovação e hidrodinâmica acelerada. Os baixos valores de oxigênio-18 estão associados à paleoáguas que infiltraram através da Chapada do Chapada do Araripe.

O gráfico da Figura 4, com dados da Tabela 1, mostra através de cores o aquífero explorado; em verde, estão os poços que captam água na área de recarga da Formação Missão Velha; em vermelho, os poços que produzem água de mistura do aquífero Rio da Batateira e do aquífero Missão Velha; em azul, um poço no Mauriti que, apesar de ser um único ponto, está exatamente em concordância com a reta encontrada no trabalho anterior (Santiago et al. 1996). Na reta de cor preta encontram-se poços que apresentam baixos valores de condutividade elétrica e segundo análises hidroquímicas realizadas no âmbito do Projeto são águas bicarbonatadas.

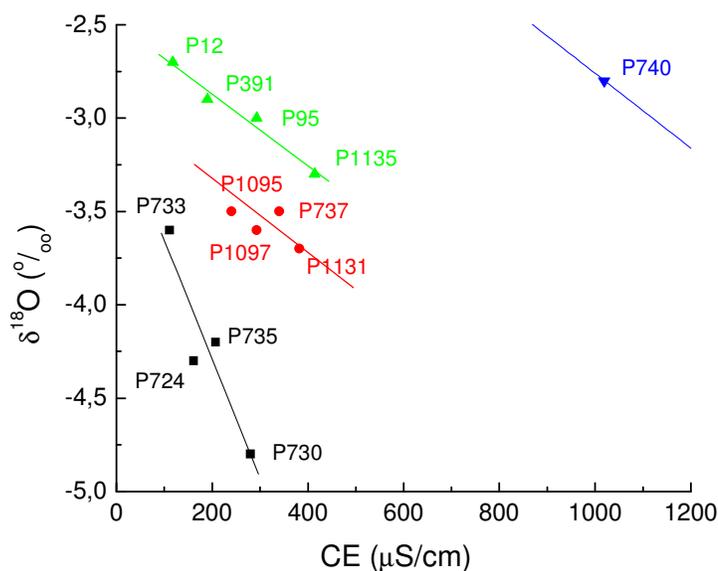


Figura 4. $\delta^{18}\text{O}$ versus condutividade elétrica, com indicação da formação geológica.

Assim, se sugere que os poços localizados na reta preta captam água do aquífero Mauriti na zona de recarga. Como a Formação Mauriti é um arenito silicificado, a água é encontrada em fraturas que podem favorecer rápida recarga.

3. Conclusões

Com as medidas de oxigênio-18 e deutério em águas de 14 poços localizados na Bacia Sedimentar do Cariri pode-se concluir que:

São águas de chuva que não sofreram evaporação.

São águas armazenadas em diferentes partes do sistema aquífero, predominando as da Formação Missão Velha; algumas amostras são misturas de águas armazenadas nas Formações Missão Velha e Rio da Batateira.

O poço de mais elevada condutividade elétrica, pelos valores isotópicos, explora águas armazenadas na Formação Mauriti.

Assim, os isótopos ambientais permitiram identificar a influência do tectonismo que compartimentando a bacia sedimentar produziu diferentes condições de armazenamento das águas subterrâneas favorecendo, portanto, diferentes processos geoquímicos.

4. Referências Bibliográficas

CRAIG, H. 1961. Isotopic variations in meteoric waters. Science 133: 1702.

SANTIAGO, M.F., MENDES FILHO, J., SILVA, C.M.S.V.; FRISCHKORN.H. **Modelo isotópico da dinâmica dos aquíferos do Cariri.** In: Projeto de Avaliação Hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Araripe, 101p. Ministério de Minas e Energia, Recife. P.89-101, 1996.