

ISÓTOPOS AMBIENTAIS COMO IDENTIFICADORES DE AQUÍFEROS EXPLOTADOS NA BACIA SEDIMENTAR DO CARIRI

Carla M.S.Vidal Silva¹, Maria Marlúcia Freitas Santiago¹, Horst Frischkorn²,

Josué Mendes Filho¹, Liano Silva Veríssimo³

RESUMO --- Foram amostrados, em dezembro de 2005, 13 poços profundos na parte leste do Vale do Cariri que captam nos aquíferos Rio da Batateira, Missão Velha e Mauriti. Foram medidos os isótopos ambientais ^{18}O e D e a condutividade elétrica, CE, das águas. Os dados são comparados com resultados de uma pesquisa anterior (1997) quando os aquíferos foram caracterizados por suas respectivas retas de regressão $\delta^{18}\text{O}$ vs. CE. Um gráfico com os valores de $\delta^{18}\text{O}$ e CE do presente trabalho em conjunto com estas retas permite identificar os respectivos ambientes hidrogeológicos dos poços amostrados.

ABSTRACT --- In December 2005 thirteen deep wells, exploiting the aquifers Rio da Batateira, Missão Velha, and Mauriti, in the eastern part of the Cariri Valley well sampled. Environmental isotopes ^{18}O and D and electric conductivity, CE, of their waters were measured. These data are being compared to results from a prior research (1997) when the aquifers were characterized through their respective regression lines $\delta^{18}\text{O}$ vs. CE. A plot with the $\delta^{18}\text{O}$ and CE of the present research together with these regression lines identifies the respective hydrogeologic environments of the sampled wells.

Palavras-Chave: Isótopos ambientais, água subterrânea, Cariri

¹ Departamento de Física, Campus do Pici, Cx. Postal 6030, Tel. (85) 33669913, CEP: 60455-760, Fortaleza-CE, E-mail: carla@fisica.ufc.br, marlucia@fisica.ufc.br, josue@fisica.ufc.br

² Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Campus do Pici, Cx. Postal 6006, 60455-760, Fortaleza-CE. E-mail: cariri@ufc.br

³ Serviço Geológico do Brasil - CPRM. Avenida Antonio Sales, 1418, Joaquim Távora, Fortaleza-Ce. Tel. (85) 3246-12.42, Fax (85) 3246-16.86 liano@fo.cprm.gov.br

1 – INTRODUÇÃO

O presente trabalho constitui parte de um estudo desenvolvido dentro do Projeto Comportamento das Bacias Sedimentares da Região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro. Implantado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, através da Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, foi executado em conjunto pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM/Residência de Fortaleza e Universidade Federal do Ceará – UFC por meio de uma rede cooperativa de pesquisa. Constitui-se no diagnóstico das águas subterrâneas amostradas através de poços tubulares, objetivando um entendimento da recarga e do armazenamento dessas águas nos aquíferos da região para melhor uso e gerenciamento dos recursos.

O Nordeste caracteriza-se como uma região de poucas chuvas, concentradas em três a cinco meses do ano. As rochas cristalinas no Ceará ocupam 75% (109.500 km²) de sua área, com propriedades mínimas para armazenar água. Entretanto, a Bacia Sedimentar do Araripe localiza-se na região do Cariri constituindo-se na maior e mais importante bacia hidrogeológica do Estado, com as melhores unidades armazenadoras de água subterrânea.

Para dar informações a respeito do armazenamento da água subterrânea nesses aquíferos foram utilizadas medidas de condutividade elétrica e isótopos ambientais em amostras de 13 poços tubulares.

2 - ÁREA DE TRABALHO

A Bacia Sedimentar do Araripe localiza-se ao sul do Estado do Ceará e parte dos Estados de Pernambuco e Piauí, constituindo-se no divisor de águas das bacias hidrográficas dos rios Jaguaribe (CE) ao norte, São Francisco (PE) ao sul e Parnaíba (PI) a oeste. Ela é composta de um planalto, a Chapada do Araripe, com área de 7.500 km² e com altitude média de 750 m e de um vale no sopé da Chapada, o Vale do Cariri, com uma área de 3.500 km² (ANJOS, 1963).

A área de estudo ocupa aproximadamente 4.500 km² no Vale do Cariri (Figura 1), delimitada pelas coordenadas geográficas de 38°30' a 39° 28' de longitude oeste de Greenwich e de 7° 05' a 7°40' de latitude sul, englobando os municípios cearenses de Abaiara, Barbalha, Brejo Santo, Crato, Juazeiro do Norte, Mauriti, Milagres, Missão Velha e Porteiras. A área localiza-se a uma distância aproximada de 550 km da cidade de Fortaleza.

O clima na região é semi-árido, com precipitação anual média de 1000 mm e pico nos meses de janeiro a abril. Os meses de junho a novembro apresentam os mais baixos índices pluviométricos (KIMURA, 2003). A temperatura média anual varia entre 24°C e 27°C, sendo o mês de julho o mais frio (23,5°C) e novembro o mais quente (27,4°C) (IPLANCE,1997). A hidrografia é caracterizada pela ausência de rede de drenagem na parte superior da chapada, pelo setor torrencial nas vertentes da chapada até as planícies, com contribuições em forma de fontes pontuais ou difusas e, pela zona

de espraiamento (aluviões) depois das vertentes, onde são depositadas as cargas das torrentes (DNPM, 1996).

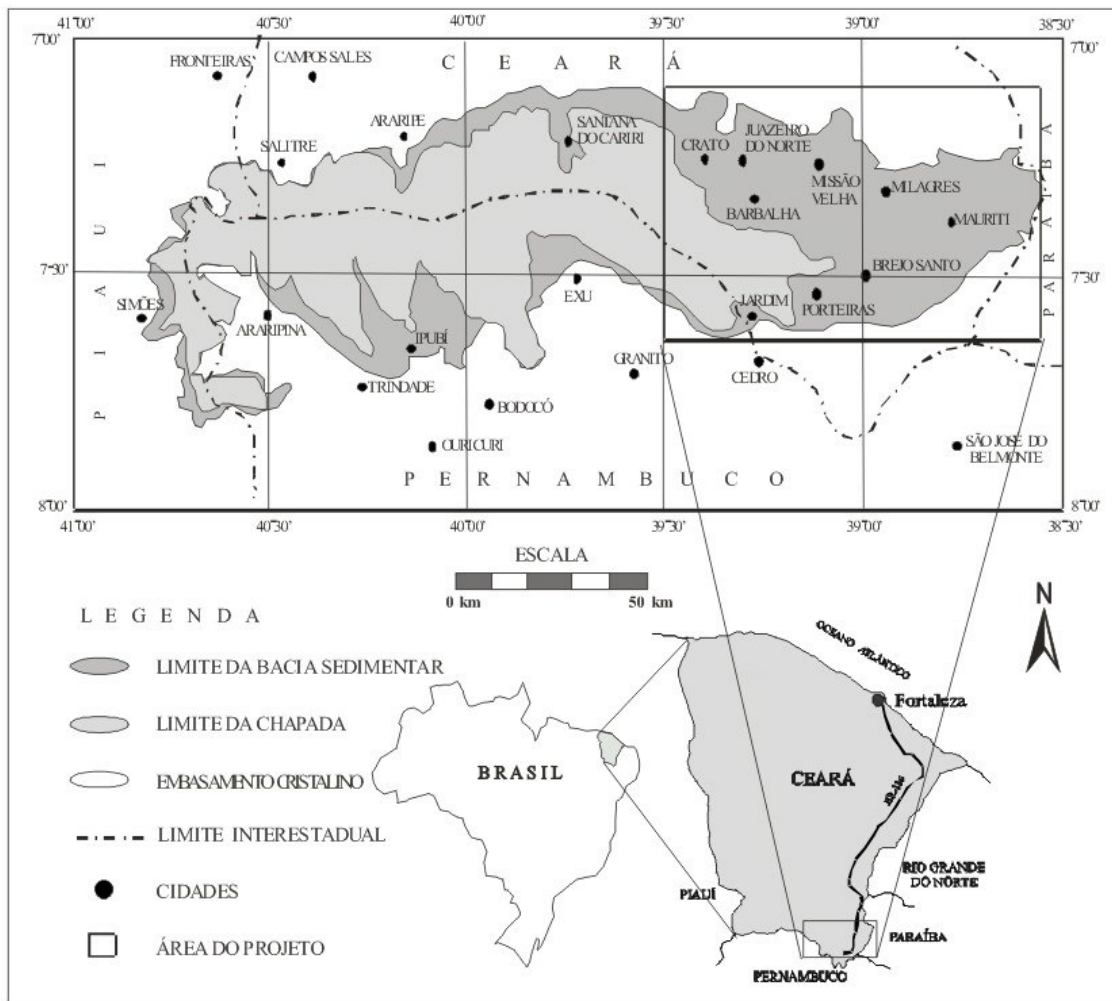


Figura 1 - Mapa de localização da Bacia Sedimentar do Araripe e da área do Projeto.

2.1 – Geologia da área de trabalho

Segundo PONTE & PONTE FILHO (1996), a Bacia Sedimentar do Araripe está implantada sobre os terrenos pré-cambrianos da Província Borborema, lateralmente ao Lineamento da Paraíba. É constituída pelas Formações: Mauriti (arenitos quartzosos, grosseiros a médios); Brejo Santo (arenitos finos, siltitos, argilitos e folhelhos); Missão Velha (arenitos grosseiros); Abaiara (arenitos micáceos argilosos, finos a médios, siltitos e folhelhos); Rio da Batateira (arenitos médios a grosseiros); Santana (folhelhos calcíferos, gipsita e margasossilíferos); Arajara (siltitos, argilitos e arenitos finos) e Exu (arenitos argilosos grosseiros a conglomeráticos). As três últimas ocorrendo somente na região da Chapada. A Figura 2 apresenta um mapa geológico da região do Cariri.

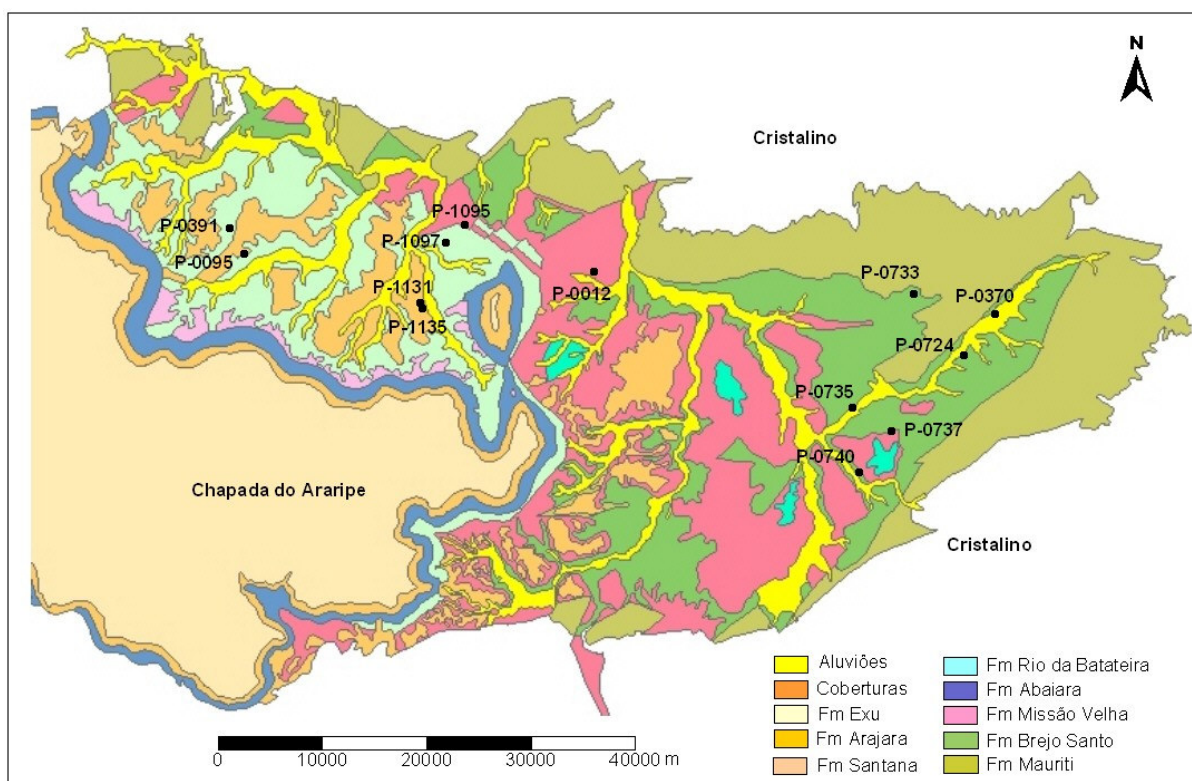


Figura 2 – Mapa Geológico da região do Cariri.

Hidrogeologicamente, a Bacia Sedimentar do Araripe é a região de maior importância para o Estado, por possuir os melhores e maiores aquíferos, representados pelas Formações Rio da Batateira, Missão Velha e Mauriti. As demais formações, Abaiara, Brejo Santo, Santana, Arajara e Exu apresentam pequena vocação hidrogeológica.

3 – METODOLOGIA

Um conjunto de 13 poços tubulares foi amostrado em dezembro de 2005 (Figura 3); durante a coleta, foi medida a condutividade elétrica e foram tomadas amostras para determinação de isótopos ambientais, oxigênio-18 (^{18}O) e deutério (D). Os locais de coleta são assim distribuídos: um no município de Abaiara (Ab), um no município de Barbalha (Bb), um no município de Crato (Ct), seis no município de Mauriti (Mau) e quatro no município de Missão Velha.

3.1 - Medidas Isotópicas

Isótopos são traçadores naturais de processos físicos e químicos ocorridos nas águas. Análises feitas em cerca de 400 amostras de chuva, em todo o mundo, levaram Craig (1961a) a observar que existe uma correlação linear entre as concentrações de deutério e de oxigênio-18. Esta correlação é expressa por $\delta\text{D} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$ e é denominada “Reta Meteórica”. Em águas que sofrem processo de

evaporação ocorre um enriquecimento em oxigênio-18 levemente maior do que em deutério e, por isso, estas águas apresentam um coeficiente angular menor do que o da reta meteórica.

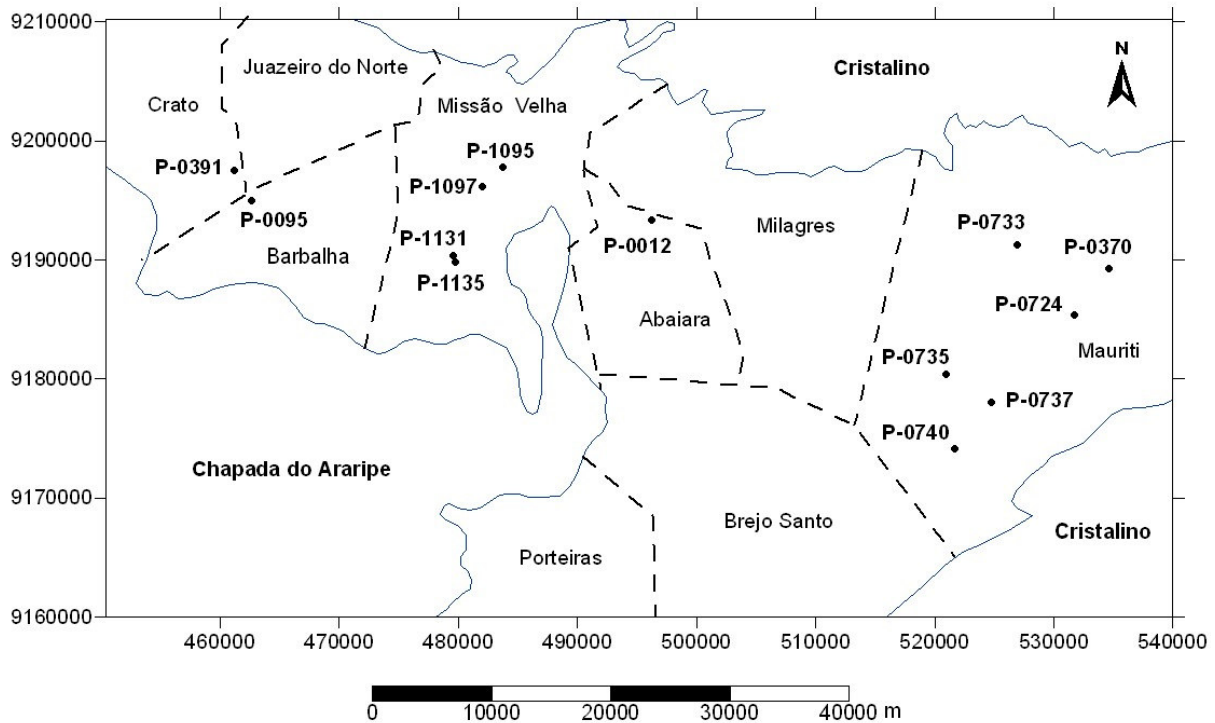


Figura 3 - Mapa de localização dos poços tubulares amostrados.

As determinações de deutério e oxigênio-18 são feitas em espectrômetro de massa com dupla entrada e duplo coletor onde a amostra e um padrão são medidos alternadamente. A variação da razão isotópica R (respectivamente $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ D/H) da amostra em relação ao padrão (CRAIG, 1961b) é expressa como diferença relativa em delta por mil ($\delta^o/_{oo}$); para o caso do oxigênio-18 e do deutério é definido por:

$$\delta^o /_{oo} = \frac{R_{amostra} - R_{padrao}}{R_{padrao}} \times 10^3 \quad (1)$$

O padrão utilizado é o V-SMOW, preparado pela Agência Internacional de Energia Atômica em Viena/Austria.

As medidas dos isótopos estáveis oxigênio-18 e deutério foram feitas no Laboratório de Física Nuclear Aplicada do Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia da Universidade Federal da Bahia, com erro analítico de $\pm 1,0 \%$ para o δD e de $\pm 0,1 \%$ para o $\delta^{18}\text{O}$.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 apresenta a localização dos poços, as coordenadas, medidas isotópicas de $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ e $\delta\text{D}\text{‰}$ e condutividade elétrica. Os valores de oxigênio-18 variaram entre $-2,7\text{‰}$ e $-4,8\text{‰}$, os valores de deutério, de $-14,5\text{‰}$ a $-32,1\text{‰}$ e a variação da condutividade elétrica foi de $111\ \mu\text{S}/\text{cm}$ a $1019\ \mu\text{S}/\text{cm}$.

Tabela 1 - Medidas isotópicas e condutividade elétrica (CE) de poços no Vale do Cariri.

Ab: Abaiara, Bb: Barbalha, Ct: Crato, Mau: Mauriti e MV: Missão Velha.

Poço N ^o	Localidade/ Município	UTMN	UTME	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	δD (‰)	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
P12	Café da Linha/Ab	9193349	496176	-2,7	-14,5	118
P95	Sito Mata/Bb	9194964	462579	-3,0	-16,2	293
P391	Santa Rosa/Ct	9197519	461175	-2,9	-17,0	190
P724	Brejo Grande/Mau	9185344	531679	-4,3	-27,4	161
P730	Gravatá/Mau	9189319	534624	-4,8	-32,1	280
P733	Lagoa Cercada/Mau	9191256	526923	-3,6	-19,3	111
P735	Lagoa Seca/Mau	9190766	522818	-4,2	-26,8	207
P737	Mandassaia/Mau	9190174	521910	-3,5	-20,7	340
P740	Sítio Novo/Mau	9174128	521637	-2,8	-15,4	1019
P1095	C. H. Alvorada/MV	9198440	484840	-3,5	-18,9	240
P1097	Escondido/MV	9196164	482008	-3,6	-19,2	293
P1131	Juaca Rolim/MV	9190322	479507	-3,7	-19,1	382
P1135	Canta Galo 2/MV	9189742	479738	-3,3	-17,5	414

O gráfico de δD versus $\delta^{18}\text{O}$, na Figura 4, 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 um 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. Assim, eles 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.

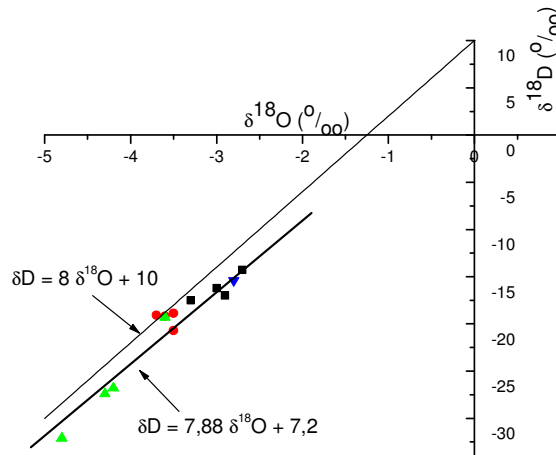


Figura 4 - Correlação entre deutério e oxigênio-18.

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 (Santiago et. al., 1997). Na Figura 5 estão apresentados os valores de $\delta^{18}\text{O}$ e da condutividade elétrica do presente estudo juntamente com as retas citadas.

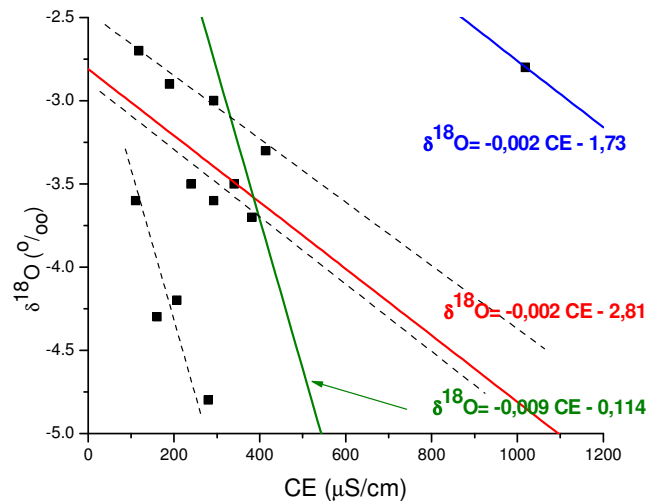


Figura 5 - $\delta^{18}\text{O}$ versus condutividade elétrica, e as retas do trabalho de Santiago et al. (1996).

O gráfico da Figura 6 mostra através de cores o aquífero explotado; em verde, estão os poços que captam 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. 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.

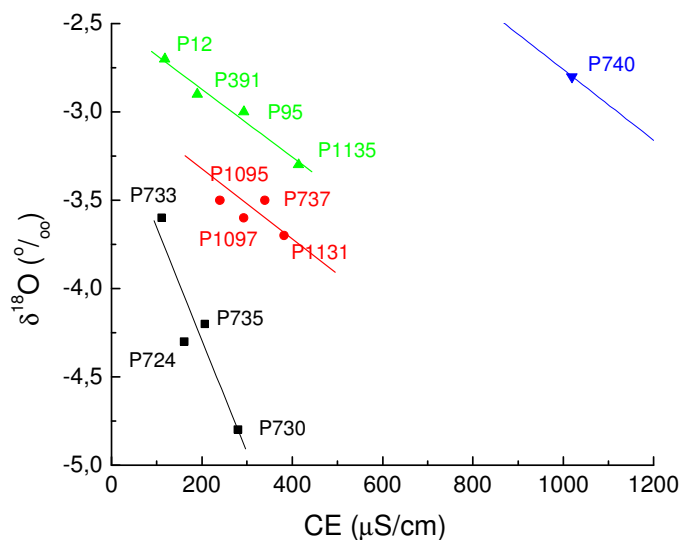


Figura 6 - $\delta^{18}\text{O}$ versus condutividade elétrica, com indicação da formação geológica.

Essas características são de águas recentes de fácil renovação e hidrodinâmica acelerada. Os baixos valores de oxigênio-18 podem estar associados aos eventos extraordinários de chuva de 2003 e especificamente de 2004 provocados presença simultânea da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) com um Vórtice Ciclônico de Ar Superior (VCAS) causando uma alta eficiência da condensação, levando à pluviosidade elevada (ALVES et. al., 2006) marcando as chuvas com valores extremamente baixos de $\delta^{18}\text{O}$ (LAWRENCE, 1998) pelo efeito da quantidade.

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.

5 – CONCLUSÕES

As águas analisadas têm condutividade elétrica abaixo de 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com exceção de uma amostra e são águas recentes que não sofreram processo de evaporação antes da infiltração.

Correlações entre oxigênio-18 e condutividade elétrica indicaram os tipos de armazenamento: amostras nos aquíferos Missão Velha, na zona de recarga, amostras de mistura de águas captadas nos aquíferos Rio da Batateira e Missão, e amostras do aquífero Mauriti na zona de recarga.

Este trabalho mostra a eficiência dos isótopos ambientais como traçadores naturais das águas no ciclo hidrológico.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FINEP pelo apoio financeiro, à CPRM e à UFC pelo apoio logístico.

BIBLIOGRAFIA

ALVES, J.M.B.; FERREIRA, F.F.; CAMPOS, J.N.B.; SOUZA FILHO, F.A.; SOUZA, E.B.; DURAN, B.J.; SERVAIN, J.; STUDART, T.M.C. “*Mecanismos atmosféricos associados à ocorrência de precipitação intensa sobre o Nordeste do Brasil durante janeiro/2004*” Revista Brasileira de Meteorologia 21(1), pp.56-76.

ANJOS, N.F.R. 1963 “*Novos elementos sobre a Hidrologia do Alto Jaguaribe – Ceará.*” Recife, SUDENE, 1963.

CRAIG, H. 1961a “*Isotopic variations in meteoric waters.*” Science 133, p. 1702.

CRAIG, H. 1961b “*Standard for reporting concentrations of deuterium and oxygen-18 in natural water.*” Science, 133, pp. 1833-1834.

DNPM. *Projeto avaliação hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Araripe*. Programa Nacional de Estudos dos Distritos Mineiros. Recife, Departamento Nacional da Produção Mineral, Distritos Regionais de Pernambuco e Ceara. 101p. 1996.

IPLANCE – “*Atlas do Ceará*” - Fundação Instituto de Planejamento do Ceará. - Governo do Estado do Ceará, Secretaria do Planejamento e Coordenação - SEPLAN. 1997. 65p.

KIMURA, G. 2003 “*Caracterização hidrogeológica do sistema sedimentar do Gráben Crato-Juazeiro, no Vale do Cariri (Ce).*” Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.

LAWRENCE, J.R. 1998 “*Isotopic spike from tropical cyclone in surface water: opportunities in hydrology and paleoclimatology.*” Chemical Geology 144 pp. 153-160.

PONTE, F.C. & PONTE-FILHO, F. C. “*Estrutura Geológica e Evolução Tectônica da Bacia do Araripe.*” Recife. DNPM, 1996. 68 p.

SANTIAGO, M.F. MENDES FILHO, J. SILVA, C.M.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.
