

OXIGÊNIO-18 E DEUTÉRIO NAS ÁGUAS DOS AQUIFEROS JANDAÍRA E AÇU NO CEARÁ

Maria Marlúcia Freitas Santiago¹; Carla Maria Salgado Vidal Silva¹, Horst Frischkorn²; Zulene Almada Teixeira³; Josué Mendes Filho¹

RESUMO – Análises de oxigênio-18 e de deutério foram realizadas em 31 amostras do aquífero Jandaíra, coletadas no município de Quixeré, e em 06 amostras do aquífero Açú coletadas nos municípios cearenses de Alto Santo e Tabuleiro do Norte, em duas coletas, em abril de 2008 e setembro de 2008. Enquanto as amostras do aquífero Jandaíra são características de águas modernas, com ¹⁸O e D exibindo valores das chuvas atuais, as águas do aquífero Açú são claramente identificadas como paleoáguas (com idade maior de 10.000 anos), provenientes de um regime climático mais frio, que marcou os isótopos ambientais com valores mais baixos que os atuais. Mudanças sazonais nas amostras da Formação Açú, em ¹⁸O e D e na condutividade elétrica indicam mistura com águas em contato com as formações carbonáticas Jandaíra e Quebradas.

ABSTRACT – Analyses of oxygen-18 and deuterium were performed on 31 water samples from Jandaira aquifer, in the township of Quixeré, and on 6 samples from the Açú aquifer in townships of Alto Santo and Tabuleiro do Norte of Ceará. Two samplings were made, one in April and the other in September of 2008. Whereas the samples from the Jandaira aquifer are typical for modern waters, with ¹⁸O and D exhibiting present day rainfall values, the waters from the Açú aquifer are clearly identified as paleowaters, with ages greater than 10,000 years, originating from a colder climate that marked them with lower ¹⁸O and D than present day rainfall. Seasonal variation of isotopes and electric conductivity in Açú waters indicate mixing with waters in contact the carbonatic formations Jandaíra or Quebradas

Palavras-Chave – Isótopos ambientais, Aquíferos Jandaíra e Açú, água subterrânea.

1 Departamento de Física da UFC, Caixa Postal 6030, Cep. 60455-760, Tel.: 85 3366.9913, Fax: 85 3366.9450 e-mails: marlucia@fisica.ufc.br; carla@fisica.ufc.br; josue@fisica.ufc.br

2 Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da UFC, Tel.:85 3366 9775, Fax: (0xx) 85 3366 9627, e-mail: cariri@ufc.br.

3 COGERH, 85 3218 7020, e-mail: zulene@cogerh.com.br

1 - INTRODUÇÃO

A Bacia Potiguar está inserida, principalmente, no Estado do Rio Grande do Norte, com estreita faixa no Estado do Ceará; topograficamente caracteriza-se pela presença da Chapada do Apodi na divisa dos dois Estados. Esta chapada tem solo potencialmente importante para agricultura irrigada; por isso, esta atividade foi iniciada na área do Ceará utilizando água superficial, do Rio Jaguaribe, perenizado pelo açude Orós. Depois foi expandida com a captação das reservas subterrâneas da Chapada, armazenadas principalmente no Calcário Jandaíra.

A agricultura irrigada se iniciou no final da década de 1980 através de um projeto do Governo Federal, denominado Projeto Jaguaribe – Apodi, da FAPIJA (Federação das Associações do Perímetro Irrigado Jaguaribe-Apodi) e da Secretaria do Desenvolvimento Local e Industrial do Estado do Ceará. A FAPIJA, com sede em Limoeiro do Norte, é responsável pela administração, organização, operação e manutenção da infra-estrutura de irrigação do perímetro irrigado.

A elevada qualidade do solo, insolação o ano inteiro, disponibilidade de água do Rio Jaguaribe e de água subterrânea e uso de tecnologias adequadas tornam a produção agrícola rentável; os municípios de Limoeiro do Norte e Quixeré tornaram-se os maiores exportadores brasileiros de melão e os segundos de abacaxi (MATIAS *et al.*, 2003, 2004).

No entanto, a sustentabilidade do programa de agricultura irrigada depende fortemente dos recursos hídricos, tanto em quantidade como em qualidade, que variam com as condições climáticas sazonais anuais e também do uso das reservas.

Este trabalho, usando medidas isotópicas e a condutividade elétrica, trata do aspecto qualitativo das águas subterrâneas da Bacia Potiguar na Chapada do Apodi, de sua variação temporal relacionada com a recarga anual e da mineralização, principalmente pela dissolução dos calcários do sistema aquífero Jandaíra.

2 - ÁREA DE TRABALHO

Este trabalho foi desenvolvido na Chapada do Apodi, que se localiza na fronteira dos Estados do Rio Grande do Norte e Ceará (Figura 1). Os pontos de amostragem de água subterrânea estão localizados nos municípios cearenses: Alto Santo, Tabuleiro do Norte, Limoeiro do Norte e Quixeré.

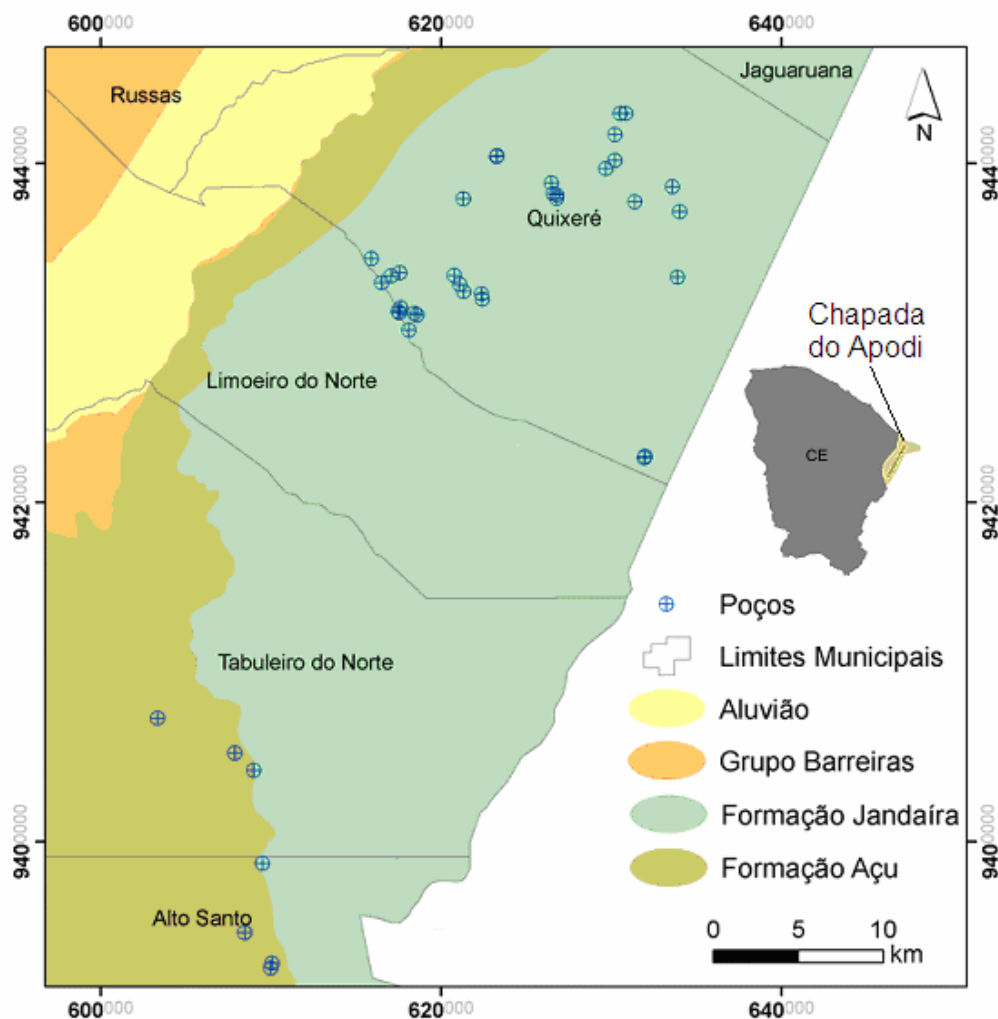


Figura 1. Localização da área de trabalho e localização dos poços amostrados.

Araripe e Feijó (1995) dividiram a estratigrafia da Bacia Potiguar em três grupos:

(i) Areia Branca, constituído pelas formações Pendência e Alagamar; (ii) Apodi, com as formações Açú, Quebradas e Jandaíra; (iii) Agulha, com as formações Ubarana, Guamaré e Tibau. A litoestratigrafia das três formações deste grupo é descrita por Cassab (2003).

A Formação Açú é composta de camadas espessas de arenitos finos a grossos, esbranquiçados, intercalados com folhelhos, argilitos e siltitos, em geral em direção ao topo. A Formação Quebradas é constituída por folhelho siltico-argiloso com camadas finas de carbonatos. Ocorre na faixa norte da Bacia Potiguar e grada lateralmente para o nível superior da Formação Açú. A Formação Jandaíra é uma seção carbonática, sobreposta concordantemente aos arenitos Açú, é composta por calcarenitos; predominam carbonatos marinhos, de águas rasas e agitadas. Águas subterrâneas estão armazenadas nas formações do Grupo Apodi, predominantemente, no calcário Jandaíra e no arenito Açú.

3 - METODOLOGIA

Análises de oxigênio-18 e de deutério foram realizadas em 31 amostras do aquífero Jandaíra, coletadas no município de Quixeré, e em 06 amostras do aquífero Açú coletadas nos municípios cearenses de Alto Santo e Tabuleiro do Norte, em duas coletas, em abril de 2008 e setembro de 2008.

As medidas de oxigênio-18 e deutério foram feitas por Espectrometria de Massa no Laboratório de Isótopos Ambientais do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) em Piracicaba – SP com erro das medidas de $\pm 1\%$ para o hidrogênio e $\pm 0,1\%$ para o oxigênio.

Os resultados das medidas destes isótopos são expressos como desvio, em por mil, em relação à um padrão, o SMOW (Standard Mean Ocean Water) (Craig, 1961a); atualmente o padrão usado nos trabalhos de Hidrologia é o V-SMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water) que é distribuído pela IAEA (Agência Internacional de Energia Atômica) em Viena, Áustria, e as medidas são expressas em termos de $\delta\%$, definido como:

$$\delta = \left\{ \frac{R - R_0}{R_0} \right\} \cdot 10^3, \quad (1)$$

sendo R a razão isotópica de uma amostra, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ou D / H respectivamente, e R_0 a razão isotópica do padrão.

Valores positivos de δ nos dizem que a amostra em estudo é mais rica na espécie isotópica pesada com relação ao padrão; valores negativos de δ indicam que a amostra é mais pobre na espécie isotópica pesada em relação ao padrão

4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

As tabelas 1 e 2 apresentam os resultados das medidas dos isótopos ambientais, oxigênio-18 e deutério, e da condutividade elétrica de amostras do aquífero Jandaíra e do aquífero Açú, respectivamente, coletadas em abril e setembro de 2008.

Os histogramas da figura 2 e da figura 3 mostram as medidas de oxigênio-18 e de deutério em amostras de águas do aquífero Jandaíra e do aquífero Açú, respectivamente, nas coletas no período chuvoso e no período seco.

Tabela 1. Oxigênio-18, deutério e condutividade elétrica de amostras do aquífero Jandaíra. COG: COGERH; QUE: Quixeré.

Nº	Local	$\delta^{18}\text{O} \text{‰}$		$\delta\text{D} \text{‰}$		CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	
		04/2008	09/2008	04/2008	09/2008	04/2008	09/2008
1	COG/QUE/0211	-2,18	-1,56	-15,3	-12,6	1730	1409
2	COG/QUE/0033	-3,37	-3,10	-18,3	-17,9	1214	1134
3	COG/QUE/0081	-2,72	-1,97	-13,8	-14,1	1528	1365
4	COG/QUE/0083	-2,95	-1,81	-14,7	-13,4	1426	1211
5	COG/QUE/0043	-3,61	-2,76	-18,8	-17,1	2060	1624
6	COG/QUE/0046	-3,72	-2,53	-16,3	-15,5	1786	1847
7	COG/QUE/0030	-	-2,75	-	-18,3	-	1176
8	COG/QUE/0220	-3,87	-3,76	-18,5	-20,8	1807	1390
9	COG/QUE/0212	-	-2,92	-	-14,9	-	2020
10	COG/QUE/0227	-	-3,55	-	-19,6	-	1608
11	COG/QUE/0236	-3,91	-3,59	-20,8	-19,0	1390	1367
12	COG/QUE/0243	-3,30	-3,09	-18,5	-16,6	1923	1665
13	COG/QUE/0064	-3,22	-2,69	-15,6	-15,6	2130	1613
14	COG/QUE/0066	-3,64	-2,68	-16,0	-15,3	2260	2170
15	COG/QUE/0105	-2,19	-1,36	-12,6	-8,8	1554	1249
16	COG/QUE/0104	-2,98	-2,63	-14,9	-12,0	2070	1809
17	COG/QUE/0147	-2,74	-	-13,8	-	2220	-
18	COG/QUE/0148	-3,16	-4,02	-16,5	-16,4	1735	1609
19	COG/QUE/0131	-2,50	-3,21	-15,4	-14,4	2140	1726
20	COG/QUE/0132	-2,64	-3,25	-16,2	-15,6	2250	1610
21	COG/QUE/0133	-3,30	-	-18,1	-	2120	-
22	COG/QUE/0136	-2,98	-2,98	-16,2	-13,8	2540	1484
23	COG/QUE/0137	-3,00	-2,95	-16,8	-13,0	2480	1740
24	COG/QUE/0246	-1,70	-2,73	-13,5	-11,7	1725	1415
25	COG/QUE/0027	-2,91	-3,89	-17,4	-16,4	1413	1225
26	COG/QUE/0020	-	-3,68	-	-15,8	-	1152
27	COG/QUE/0192	-1,61	-1,66	-11,5	-8,3	1803	1392
28	COG/QUE/0193	-2,27	-1,39	-11,9	-7,7	1791	1389
29	COG/QUE/0194	-2,36	-1,40	-11,5	-7,6	1975	1422
30	COG/QUE/0196	-3,18	-	-15,5	-	1584	-
31	COG/QUE/0197	-3,66	-1,66	-18,1	-9,7	1435	1469

Tabela 2. Oxigênio-18, deutério e condutividade elétrica de amostras do aquífero Açu. COG: COGERH; ALS: Alto Santo; TAN: Tabuleiro do Norte.

N ^o	Local	$\delta^{18}\text{O} \text{‰}$		$\delta\text{D} \text{‰}$		CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	
		04/2008	09/2008	04/2008	09/2008	04/2008	09/2008
1	COG/ALS/0002	-5,20	-5,22	-25,3	-27,0	142	146
2	COG/ALS/0023	-4,53	-4,62	-24,7	-23,6	433	152
3	COG/ALS/0015	-6,00	-4,34	-23,2	-21,1	83	618
4	COG/ALS/0024	-6,22	-4,46	-24,3	-22,4	121	148
5	COG/TAN/0190	-6,63	-3,94	-25,0	-22,6	859	897
6*	COG/TAN/0189	-6,45	-3,87	-25,2	-21,2	1108	2440
7*	COG/TAN/0141	-7,11	-3,72	-31,0	-23,3	1161	2000

* Amostras da Formação Quebradas.

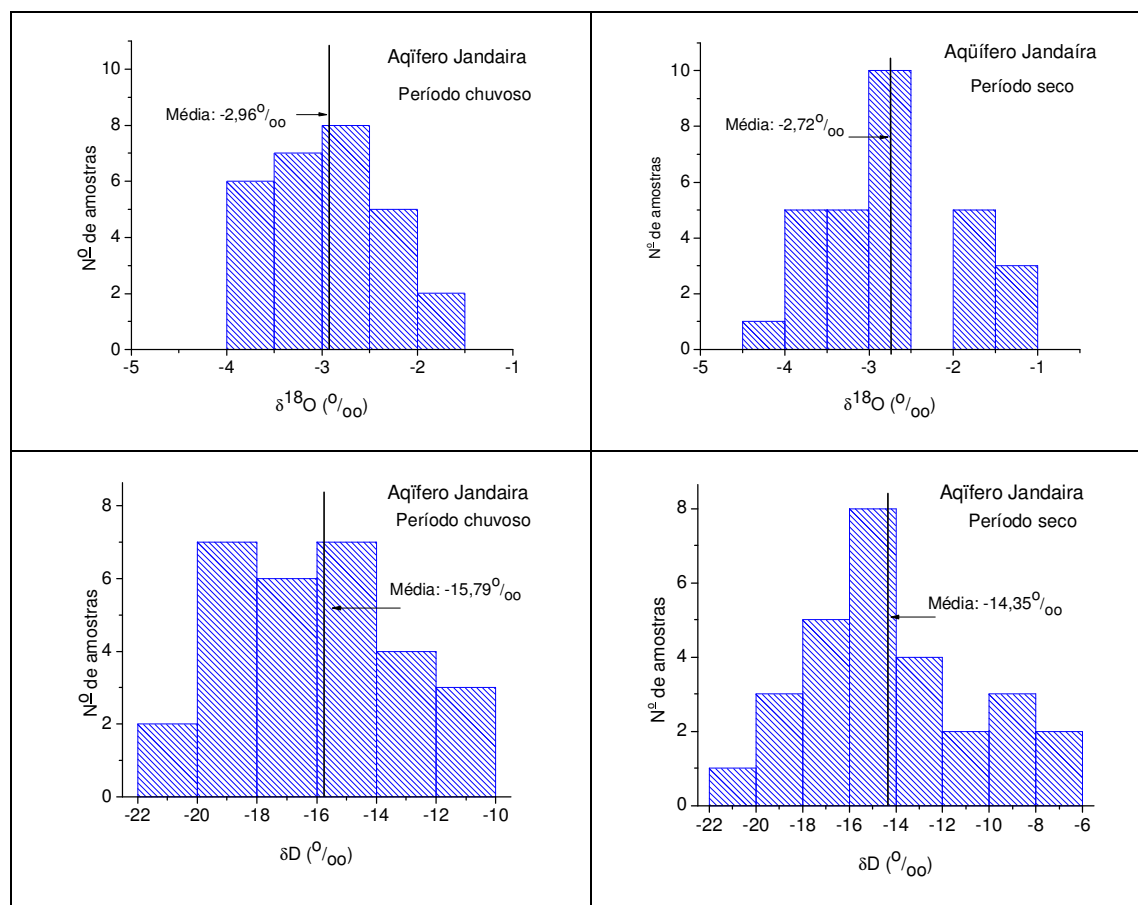


Figura 2. Histogramas de oxigênio-18 e deutério nas águas do aquífero Jandaíra.

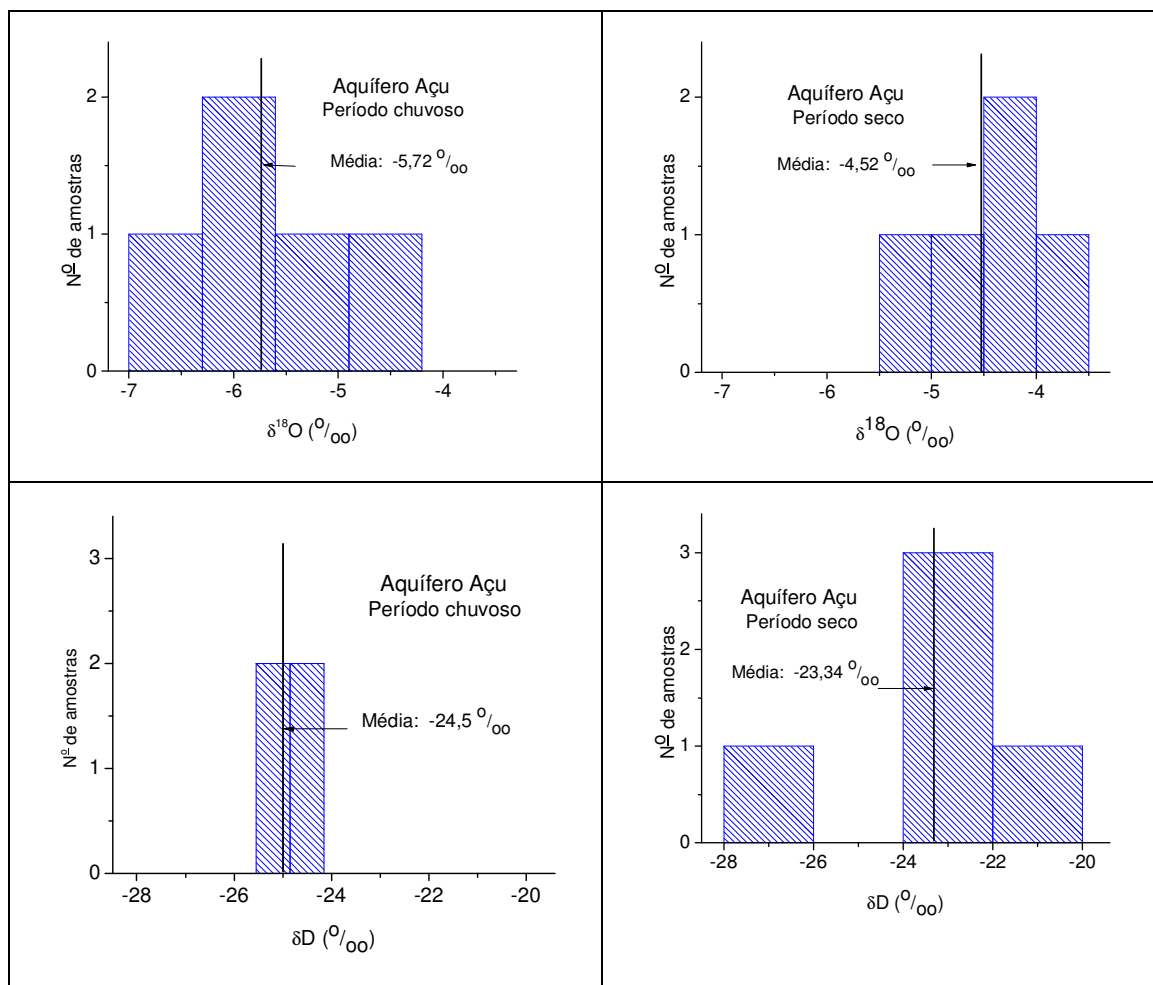


Figura 3. Histogramas de oxigênio-18 e de deutério nas águas do aquífero.

A estatística dos valores de oxigênio-18, deutério e condutividade elétrica para águas dos dois aquíferos, Jandaíra e Açú estão na tabela 3. Os valores médios mostram que as medidas dos isótopos oxigênio-18 e deutério e da condutividade elétrica das águas do calcário Jandaíra se mantêm no intervalo de cinco meses (da primeira a segunda coleta) dentro das faixas de erro.

No caso das amostras do arenito Açú se observa diferença nas médias de oxigênio-18 indicando a mistura de paleoáguas com águas recentes. A influência do meio carbonático do Jandaíra ou da Formação Quebradas se manifesta também no aumento da condutividade elétrica.

A Formação Quebradas contem finas camadas de carbonatos, permitindo dissolução, que produzindo águas mais salinas e duras do que as da Formação Açú e apresentam armazenamentos com misturas com paleoáguas. Embora semelhantes às águas do Açú no que tange no que tange à mistura com paleoáguas elas se distinguem delas apresentam um nível de dureza bem maior.

Tabela 3. Estatística dos valores de oxigênio-18, deutério e condutividade elétrica para águas dos aquíferos Jandaíra e Açú.

Período	Média (‰)		
	Oxigênio-18	Deutério	CE (µS/cm)
Aquífero Jandaíra			
Chuvoso	-2,96 ± 0,61	-15,79 ± 2,39	1855 ± 349
Seco	-2,72 ± 0,81	-14,35 ± 3,58	1510 ± 259
Aquífero Açú			
Chuvoso	-5,72 ± 0,84	-24,50 ± 0,82	327 ± 328
Seco	-4,52 ± 0,547	-23,34 ± 2,23	392 ± 348
Paríodo	Intervalo (‰)		
Aquífero Jandaíra			
Chuvoso	-3,91 a -1,61	-20,8 a -11,5	1214 a 2540
Seco	-4,02 a -1,36	-20,8 a -7,6	1134 a 2170
Aquífero Açú			
Chuvoso	-6,63 a -4,53	-25,3 ± -23,2	83 a 859
Seco	-5,22 a -3,94	-27,0 ± -21,1	146 a 897

A figura 4 apresenta a relação entre os dois isótopos, oxigênio-18 e deutério, nas águas subterrâneas armazenadas no aquífero Jandaíra em Quixeré; nela estão mostradas as retas correspondentes aos dados do período chuvoso (verde), do período seco (laranja) e a reta Meteorólica Mundial (RMM) (Craig, 1961b):

$$\delta D = 8 \delta^{18}O + 10 \quad (2)$$

Observa-se, nos dois períodos, um forte afastamento das retas dos períodos chuvoso e seco para a reta mundial indicando uma forte influência da evaporação (cinética) durante o evento de chuva.

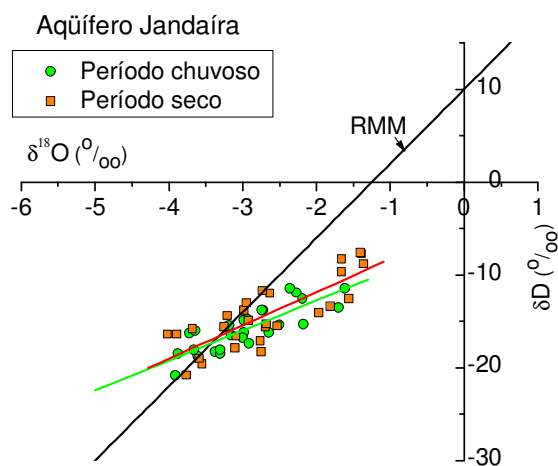


Figura 4. δD versus $\delta^{18}O$ em águas do aquífero Jandaíra nos períodos chuvoso e seco.

A figura 5 mostra a relação entre o oxigênio-18 e a condutividade elétrica, que expressa a salinidade das águas. A faixa de valores de $\delta^{18}\text{O}$ nas águas de chuva na área atualmente é de -3 a -4‰. Observa-se que a salinidade das águas é mais elevada nas amostras coletadas no período chuvoso. Valores acima de -3‰ correspondem a águas que sofreram processos de evaporação e as águas com valores menores do que -4‰ correspondem a paleoáguas ou a mistura de águas recentes com paleoáguas.

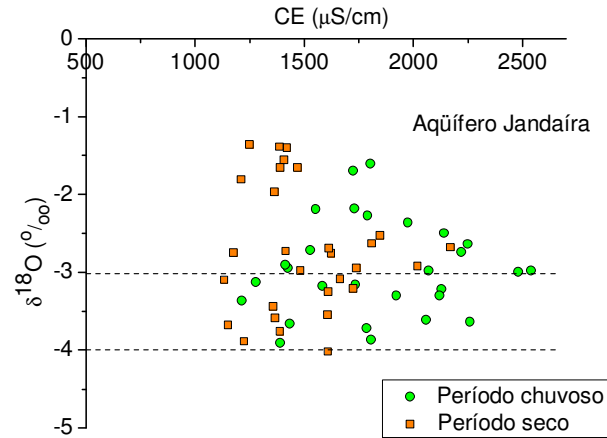


Figura 5. $\delta^{18}\text{O}$ versus condutividade elétrica em águas do aquífero Jandaíra nos períodos chuvoso e seco.

Na figura 6 estão os valores isotópicos de amostras do aquífero Açú. Os resultados mostram retas paralelas à Reta Meteorica Mundial (RMM), e a presença de paleoáguas e mistura com paleoágua indicada pelos valores de $\delta^{18}\text{O}$ abaixo de -4‰. A figura 7 com. $\delta^{18}\text{O}$ versus condutividade elétrica em águas do aquífero Açú nos períodos chuvoso e seco ressalta também a presença de paleoáguas e que as águas são menos mineralizadas.

Comparando as figuras 4 e 6 observa-se que isotopicamente as águas dos dois aquíferos são diferentes, águas recentes estão presentes no Jandaíra e paleoáguas no Açú. As figuras 5 e 7 também mostram que as águas do arenito Açú são menos salinas do que as do calcário Jandaíra.

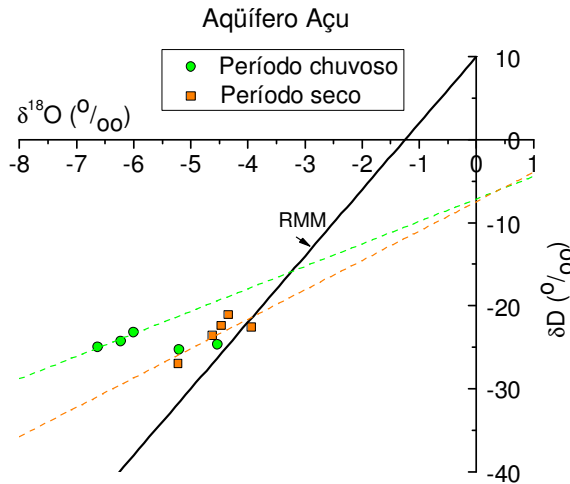


Figura 6. δD versus δ¹⁸O em águas do aquífero Açú nos períodos chuvoso e seco.

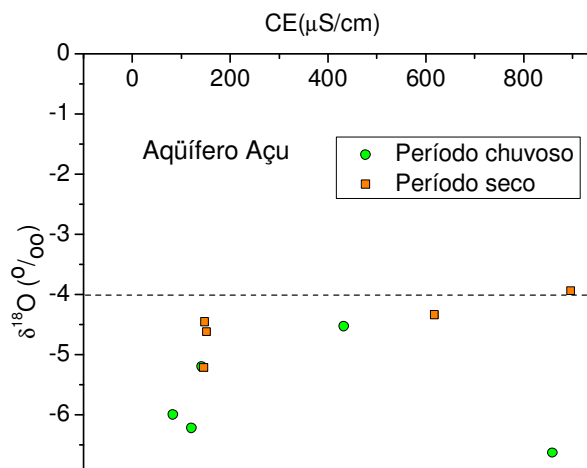


Figura 7. δ¹⁸O versus condutividade elétrica em águas do aquífero Açú nos períodos chuvoso e seco.

5 - CONCLUSÕES

Enquanto as amostras do aquífero Jandaíra são características de águas modernas, com ¹⁸O e D exibindo valores das chuvas atuais, as águas do aquífero Açú são claramente identificadas como paleoáguas (com idade maior de 10.000 anos), provenientes de um regime climático mais frio, que marcou os isótopos ambientais com valores mais baixos que os atuais. Mudanças sazonais nas amostras da Formação Açú, em ¹⁸O e D e na condutividade elétrica indicam mistura com águas em contato com as formações carbonáticas Jandaíra e Quebradas.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARARIPE, P.T. & FEIJÓ F.J. 1995. Bacia Potiguar. **Boletim de Geociências da Petrobras**. 8 (1)127-141.
- CASSAB, R.C.T. 2003. **Paleontologia da Formação Jandaíra, Cretáceo Superior da Bacia Potiguar, com ênfase na Paleobiologia dos gastrópodes**. Tese de Doutorado (Instituto de Geociências/UFRJ)p.184.
- CRAIG, H. 1961 a. Isotopic Variations in Meteoric Waters. **Science** 133: 1702- 1703.
- CRAIG, H. 1961 b. Standard for reporting concentrations of deuterium and oxygen-18 in natural waters. **Science** 133: 1833- 1834.
- MATIAS, G. D. V., SILVA, L. M. R., KHAN, A. S. Perfil dos produtores de frutas do município de Limoeiro do Norte – CE frente ao novo paradigma de desenvolvimento do setor. **Revista Ciência Agronômica**, vol 34, nº 1, 2003.
- MATIAS, G. D. V., SILVA, L. M. R., KHAN, A. S. Reflexos de Políticas Públicas sobre a Fruticultura Cearense: o caso do Agropolo Baixo-Jaquaribe. **Revista de Economia e Agronegócios**, vol 2, nº 2, abril 2004.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à COGERH, à FCPC e à UFC pelo apoio financeiro e logístico.