

MEDIDAS DE OXIGÊNIO-18 USADAS PARA IDENTIFICAR CONEXÃO ENTRE ÁGUA SUPERFICIAL E ÁGUA SUBTERRÂNEA

Carla Maria Salgado Vidal Silva¹; Marlúcia Freitas Santiago¹; Mickaelon Belchior Vasconcelos¹; José Geilson Alves Demétrio² & Fernando Antonio Carneiro Feitosa³

Resumo – Medidas de oxigênio-18 e condutividade elétrica, em amostras de águas do açude São Gabriel e de dois poços a 15 e a 80 m do açude, coletadas durante o período de quatro anos e sete meses, foram utilizadas para identificar a existência de conexão hidráulica entre o açude e os poços. A área de estudo localiza-se no distrito de Juá, município de Irauçuba, no Ceará, no domínio de rochas cristalinas. Estas medidas evidenciam a diferença de recarga dos sistemas aquíferos explorados pelos dois poços. Os resultados mostram que o poço P3 recebe recarga do açude durante o período seco, quando o bombeamento é mais intenso. As águas dos poços sofreram processo de evaporação.

Abstract - Measurements of oxygen-18 and electric conductivity in water samples from the dam São Gabriel and two wells, collected during a period of four years and seven months, have been used to identify the existence of hydraulic connections between the dam and the wells. The study area is situated in the district of Juá, township of Irauçuba/Ceará, in a crystalline bedrock region. The measurements show different recharge mechanisms to the two systems exploited by the wells. One of the wells receives water from the dam during the dry season when pumping is intense. Waters from the wells exhibit signs of evaporation.

Palavras-Chave – Recarga; rochas cristalinas; oxigênio-18.

INTRODUÇÃO

A interconexão entre reservatórios superficiais e subterrâneos não é fácil de ser determinada em áreas de cristalino pela complexidade do sistema de armazenamento em fendas e fraturas. A recarga do sistema subterrâneo é um dos principais parâmetros nas áreas onde o abastecimento é

¹ Depto. de Física da UFC, Caixa Postal 6030, CEP: 60.455-760, Fortaleza-Ceará-Brasil; carla@fisica.ufc.br

² Rua Capitão Araújo Miranda, 110/701; CEP: 50721-450, Recife-Pernambuco Brasil; geilson@ufpe.br

³ Av. Santos Dummont, 7700, 2º andar, CEP: 60.190-800, Fortaleza-Ceará-Brasil; ffeitosa@fo.cprm.gov.br

feito com água de poços no cristalino e a conexão com reservatórios superficiais é um importante processo de recarga e descarga.

Embora de reconhecida má vocação hidrogeológica as rochas cristalinas vêm sendo explotadas sistematicamente no Nordeste do Brasil, constituindo, muitas vezes, a única fonte de suprimento hídrico para garantir a sobrevivência da população. Segundo Manoel Filho [1], a produção média dos poços no cristalino é da ordem de 3 m³/h, com mediana de 2 m³/h e as águas apresentam qualidade medíocre, com média de sólidos totais dissolvidos da ordem de 3.000 mg/L e mediana de 1.500 mg/L.

Neste trabalho, foram utilizadas medidas dos isótopos ambientais, oxigênio-18 e deutério, em amostras coletadas no período de dezembro de 1997 a setembro de 2002, para complementar os resultados obtidos com o monitoramento da condutividade elétrica e a perfilagem térmica [2] na identificação dos mecanismos de recarga de dois poços no cristalino.

ÁREA DE TRABALHO

Os poços estudados estão localizados no distrito Juá, município de Irauçuba, Ceará, localizado em área de rochas cristalinas do Pré-Cambriano e com depósitos aluviais, em geral, pouco expressivos ao longo dos rios e riachos.

Até 1993, Juá captava água apenas do poço profundo P3 (Figura 1), complementado seu abastecimento com cacimbas domiciliares. Em agosto de 1993, com o Programa de Saneamento Rural [3] foram perfurados mais dois poços tubulares profundos, JUÁ-01 e JUÁ-02 com profundidades de 48 e 54 metros, respectivamente, próximos ao açude São Gabriel que se encontra mais elevado do que os poços, que estão no vale. As características gerais destes poços estão mostradas na Tabela 1. O poço Juá-03 está cerca de 15 m da parede do açude e os poços Juá-02 e Juá-01, distam dele 40 e 80 m, respectivamente.

O monitoramento utilizando condutividade elétrica foi realizado no açude São Gabriel e somente nos poços P2 e P3, pois o poço P1 estava desativado.

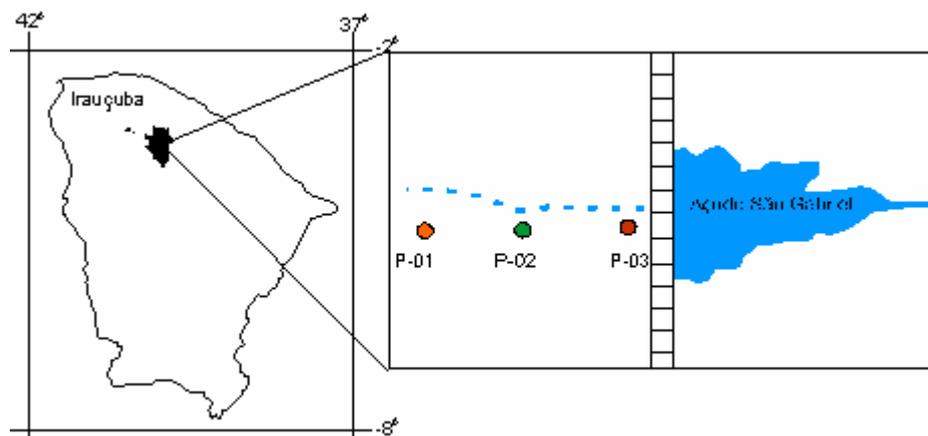


Figura 1 - Localização da área de estudo.

Tabela 1 - Características gerais dos poços em Juá. P: profundidade, NE: nível estático, ND: nível dinâmico e Q: vazão de exploração.

Poço	P (m)	NE (m)	ND (m)	Q (m ³ /h)
Juá-01	48,0	3,10	9,00	6,0
Juá-02	54,0	4,05	12,00	6,0
Juá-03	42,0	3,54	12,00	5,0

Geologia da área

O distrito de Juá está representado geologicamente por rochas cristalinas de idade Proterozóica e por uma aluvião, de relativa importância local, ao longo do rio Juá (Figura 2). As rochas cristalinas compreendem uma associação litológica dominada por biotita-gnaisses contendo lentes e/ou camadas estruturadas, da base para o topo, de mármore, gnaisses anfibolíticos (hornblenda-biotita gnaisses) e rochas calciossilicatadas. Gnaisses graníticos ocorrem estruturados paralelamente aos biotita-gnaisses. A estruturação destas litologias é aproximadamente norte-sul, com baixo mergulho para oeste. Os fotoneamentos mais marcantes são 80° azimuth, N-S e 40° azimuth.

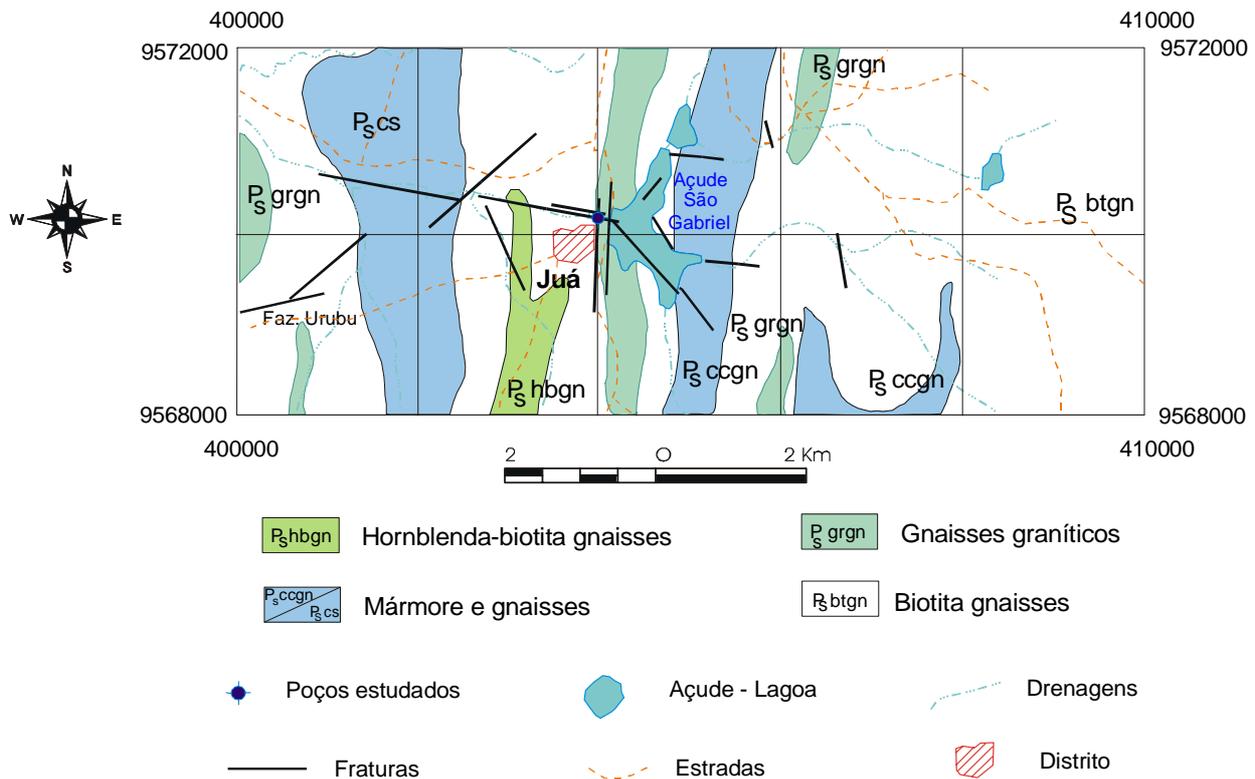


Figura 2 - Mapa geológico simplificado do distrito de Juá, Irauçuba/CE [4].

Os poços estudados e o açude São Gabriel encontram-se sobre o contato geológico biotita-gnaiss, a leste e o gnaiss granítico, a oeste, numa das áreas mais fraturadas de toda a folha Irauçuba. Feixes de fraturas (ENE-WNW e N16W), associados à famílias de juntas e veios de quartzo fraturados, são as estruturas rúpteis mais comuns que podem armazenar água subterrânea. Estudos em afloramentos nas cercanias dos poços detectaram, para uma área padrão de 1 m², 115 fraturas com 18 m de extensão e 206 interseções [4].

METODOLOGIA

A condutividade elétrica foi monitorada no período de dezembro de 1997 a setembro de 2002 com medida “in locu”. Durante o monitoramento, foram coletadas amostras de água para análise de oxigênio-18 e deutério; elas foram coletadas em garrafas de 30 mL com cuidado para evitar evaporação, o que muda a composição isotópica das mesmas.

Estes 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 [5] a observar que existe uma correlação linear entre as concentrações de deutério e de oxigênio-18. esta correlação é expressa por $\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$, com coeficiente de correlação $R = 0,997$, 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.

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 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ($^2\text{H}/\text{H}$) da amostra em relação ao padrão SMOW [6] é expressa como diferenças em delta por mil ($\delta^{\circ}/_{\text{oo}}$), para o caso do oxigênio-18, definida por:

$$\delta^{18}\text{O}(\text{‰}) = \left[\frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{amostra}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{padrão}}} - 1 \right] \cdot 10^3$$

As análises de oxigênio-18 e deutério foram realizadas no Laboratório de Isótopos Estáveis do Centro de Energia Nuclear na Agricultura em Piracicaba – São Paulo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 2 apresenta as medidas de condutividade elétrica e dos isótopos ambientais, oxigênio-18 e deutério, do açude São Gabriel e dos poços P2 e P3 durante o período 16/12/1997 a 17/09/2002.

O monitoramento da condutividade elétrica mostra as faixas de variação de 154 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 4100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, no açude, de 1126 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 3750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no poço P2 e de 1160 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 3760 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no poço P3. Estas variações de condutividade elétrica estão associadas às estações climáticas.

O açude, um reservatório superficial, recebe rápida recarga pelas chuvas, o que provoca diluição de suas águas no período chuvoso; no período seco, o intenso processo de evaporação, característico de áreas semi-áridas, concentra as águas destes reservatórios.

Nos poços, dependendo da estação, a condutividade elétrica chega a dobrar, mostrando que a recarga também é rápida; este resultado é confirmado através de datação com radiocarbono que identificou a presença de águas modernas nos poços [7]. Esse comportamento é decorrente do intenso fraturamento na área, observado nos afloramentos nas cercanias dos poços. Numa área padrão de 1 m^2 , 115 fraturas foram identificadas [4].

Tabela 2 - Medidas de condutividade elétrica, oxigênio-18 e deutério nos poços P2 e P3 e no açude São Gabriel. CE: Condutividade Elétrica.

Data Coleta	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)			$\delta^{18}\text{O}$ (‰)			$\delta^2\text{H}$ (‰)		
	P2	P3	Açude	P2	P3	Açude	P2	P3	Açude
16/12/97	1872	1236	781	1,02	1,36	7,11	0,74	1,55	33,45
22/05/98	1126	2130	1410	1,76	2,72	7,23	2,96	7,81	35,93
29/06/98	1290	2094	1363	1,72	2,65	7,57	-	-	-
04/08/98	1500	2100	1400	1,79	3,06	8,15	5,16	11,67	42,33
21/08/98	1600	1700	1400	1,73	3,09	8,38	-	-	-
01/10/98	2100	1400	2000	0,92	3,38	9,17	-	-	-
20/11/98	1900	1200	2800	1,97	3,75	9,73	5,04	14,62	51,2
22/12/98	2100	1500	4100	2,16	3,75	9,25	6,22	16,3	49,38
10/06/99	1918	1292	566	2,21	4,46	-0,32	7,47	20,57	-2,83
21/07/99	1997	1509	686	-	-	-	-	-	-
27/08/99	2540	1860	900	-	-	-	-	-	-
01/10/99	2140	1610	1114	-	-	-	-	-	-
17/12/99	2760	2080	2940	-	-	-	-	-	-
24/03/00	3030	2130	267	1,61	2,99	7,81	-	-	-
03/05/00	3250	2140	154	1,22	3,48	-5,31	-	-	-
02/06/00	2540	1780	190	1,01	2,62	-3,84	2,12	14,14	-32,59
30/06/00	3110	1990	230	1,13	2,83	-2,46	3,79	10,97	-23,26
11/08/00	3090	1990	276	1,33	1,93	-0,77	2,97	6,44	-12,96
06/09/00	2580	1504	315	-0,02	0,52	1,09	-	-	-
18/10/00	2800	1675	384	1,00	1,40	3,51	-	-	-
20/11/00	2660	1610	450	0,93	1,53	4,79	-	-	-
20/12/00	2550	1490	516	1,00	1,92	5,46	-	-	-
20/09/01	2510	1438	740	1,65	2,74	7,45	3,15	8,78	36,56
26/11/01	1190	2100	1210	-	-	-	-	-	-
29/12/01	1680	1160	-	-	-	-	-	-	-
07/05/02	2940	1448	324	1,30	2,79	0,92	-	-	-
18/06/02	2960	1410	390	1,28	4,04	2,63	-	-	-
28/07/02	2880	1380	447	1,19	2,46	4,11	-	-	-
17/09/02	3750	3760	492	-	-	-	-	-	-

A pluviosidade de Juá só começou a ser medida pela FUNCEME em maio de 1998. Os resultados da pluviometria podem ser vistos na Figura 3. Apesar de não ter dados anteriores a maio de 1998, este ano foi de pouca chuva em relação à média local; segundo a SUDENE, o total de chuva foi de, apenas, 120 mm. Os totais anuais no período de trabalho foram 553,8 mm em 1999, 772,8 mm em 2000, 346,1 mm em 2001 e 589,1 mm em 2002.

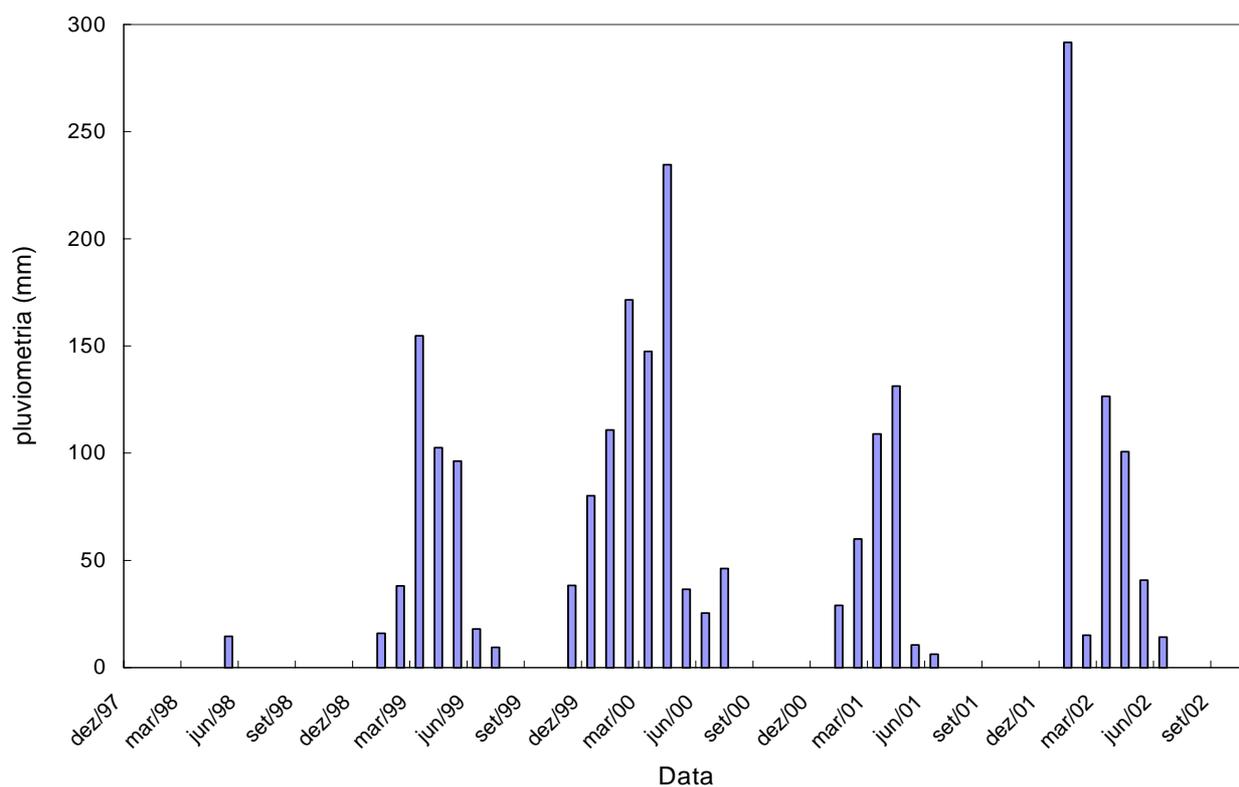


Figura 3 - Pluviometria do distrito de Juá. Fonte: FUNCEME.

A variação da condutividade elétrica no açude São Gabriel, no período de dezembro de 1997 a setembro de 2002, está apresentada na Figura 4 onde se observa que a condutividade elétrica é inversamente proporcional aos milímetros de chuva que diluem suas águas. Ou seja, os máximos de condutividade elétrica no açude ocorrem antes do período chuvoso e os mínimos após o período chuvoso. Em 2000, o pico de condutividade elétrica não foi observado no açude, porque neste ano a estação chuvosa foi mais prolongada e a pluviosidade anual atingiu o dobro dos milímetros de chuva dos anos anteriores.

Em 2001 o açude não mostrou diminuição da condutividade elétrica no período chuvoso porque este foi um ano de pluviosidade abaixo da média e a recarga não foi suficiente para diluir as águas do reservatório.

O monitoramento da condutividade elétrica nos poços durante o período de dezembro/97 a outubro/98 mostra comportamentos distintos nas seis primeiras medidas (Figura 5) de 1998 que teve uma pluviosidade abaixo da média. Enquanto cresce a condutividade elétrica do poço P3 decresce em P2 e vice-versa. No período de outubro/98 a setembro/01, os dois poços mostraram a mesma tendência e voltaram a se comportar de maneira inversa de setembro/01 a dezembro/01, também depois de um período seco. Esta diferença de comportamento indica que estes poços devem explorar sistemas de fraturas diferenciados.

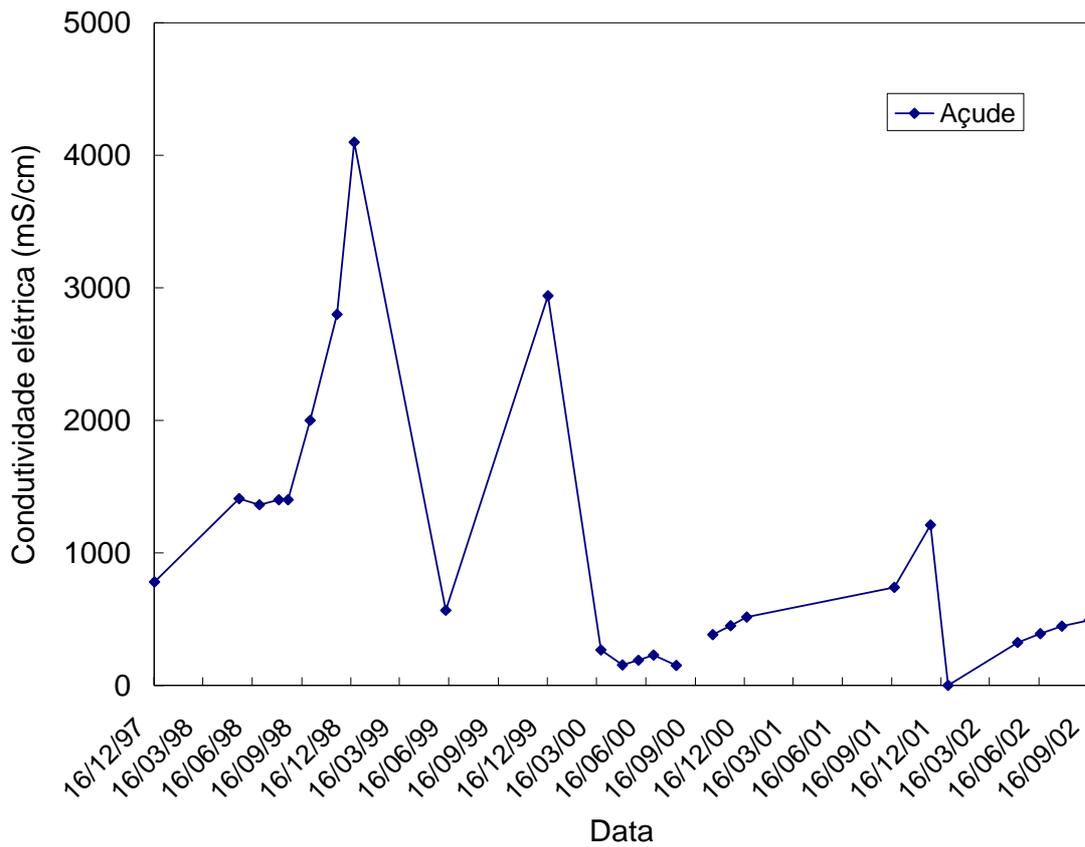


Figura 4 - Variação da condutividade elétrica com o tempo no açude São Gabriel em Juá.

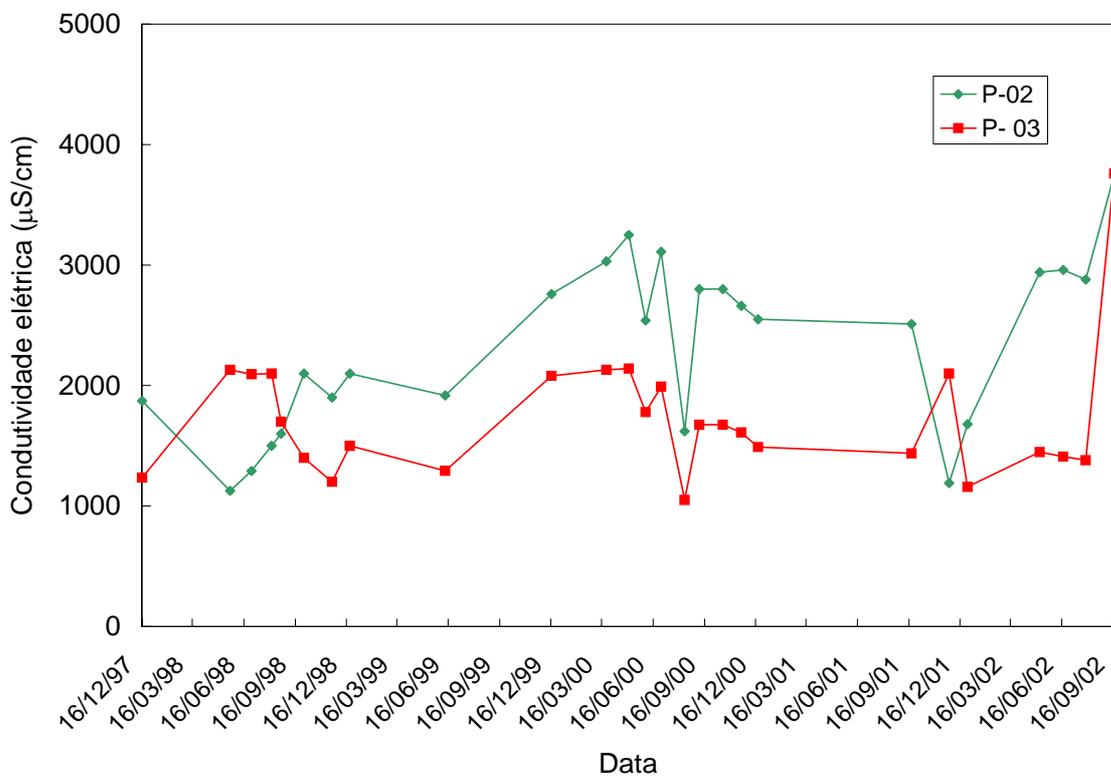


Figura 5 - Variação da condutividade elétrica com o tempo nos poços P2 e P3 em Juá.

Perfis de temperatura nos poços P2 e P3, realizados em fevereiro de 2003, mostraram que o poço P2 atravessa duas fendas produtoras, uma entre 10 e 14 m e outra entre 48 e 49 m de profundidade e o Poço P3 tem uma única entrada de água aos 34 m de profundidade [2].

A diferença de comportamento dos poços P2 e P3 ocorreu, sempre em períodos de estiagem quando o bombeamento rebaixa mais drasticamente o nível estático das fraturas. A variação da condutividade elétrica da água no poço P3 se torna idêntica ao do açude, indicando que no período de grande estiagem, o açude abastece as fraturas atravessadas pelo poço P3, via aluvião.

A Figura 6 apresenta a variação do oxigênio-18 com o tempo no açude São Gabriel que está associada à recarga e ao processo de evaporação responsável pelo enriquecimento das águas neste isótopo. Por isso, os mínimos valores correspondem à entrada de água através das precipitações e os máximos ocorrem no final dos períodos de estiagem.

Como em 1998 a pluviometria anual foi muito abaixo da média, o valor oxigênio-18 ficou aproximadamente constante, na faixa do final do período seco. Em 2000 a pluviosidade ficou dentro da média regional; por isso, o oxigênio-18 diminuiu no período chuvoso e depois subiu no período seco. Este ano é o que representa melhor o comportamento das medidas de oxigênio-18 em um reservatório aberto, porque as coletas foram feitas em um número maior de vezes em relação aos outros anos amostrados.

A Figura 7 apresenta a variação do oxigênio-18 com o tempo nos poços P2 e P3. Valores de $\delta^{18}\text{O}$ (‰) sempre positivos refletem águas evaporadas. De uma maneira geral, as medidas de oxigênio-18 apresentam o mesmo comportamento mas no poço P3 as variações são maiores em relação ao outro poço. Este resultado indica que o P3 recebe contribuição do açude que por efeito de evaporação apresenta mudanças mais acentuadas nos valores de oxigênio-18.

A Figura 8, que apresenta a variação de $\delta^2\text{H}$ em função de $\delta^{18}\text{O}$, mostra que as águas que recarregam os poços P2 e P3 são evaporadas. O elevado grau de intemperismo na área permite que as águas de recarga no período chuvoso evaporem durante a infiltração. No poço P3 que recebe recarga através do açude, o efeito da evaporação é mais intenso.

CONCLUSÕES

As medidas de oxigênio-18 e deutério nas águas do açude e dos poços no período estudado permitem concluir que:

Os poços P2 e P3 recebem água que sofreram evaporação, processo que ocorre durante a infiltração através de zona fraturada.

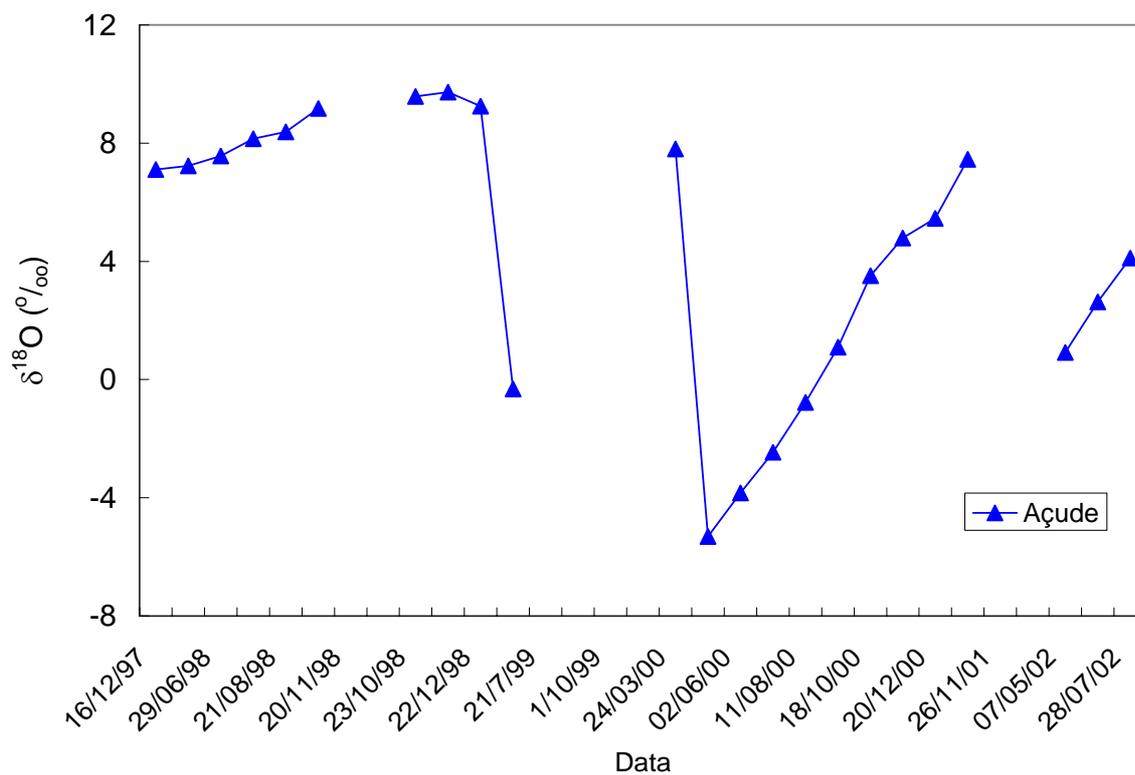


Figura 6 - Variação da condutividade elétrica com o tempo no açude São Gabriel em Juá.

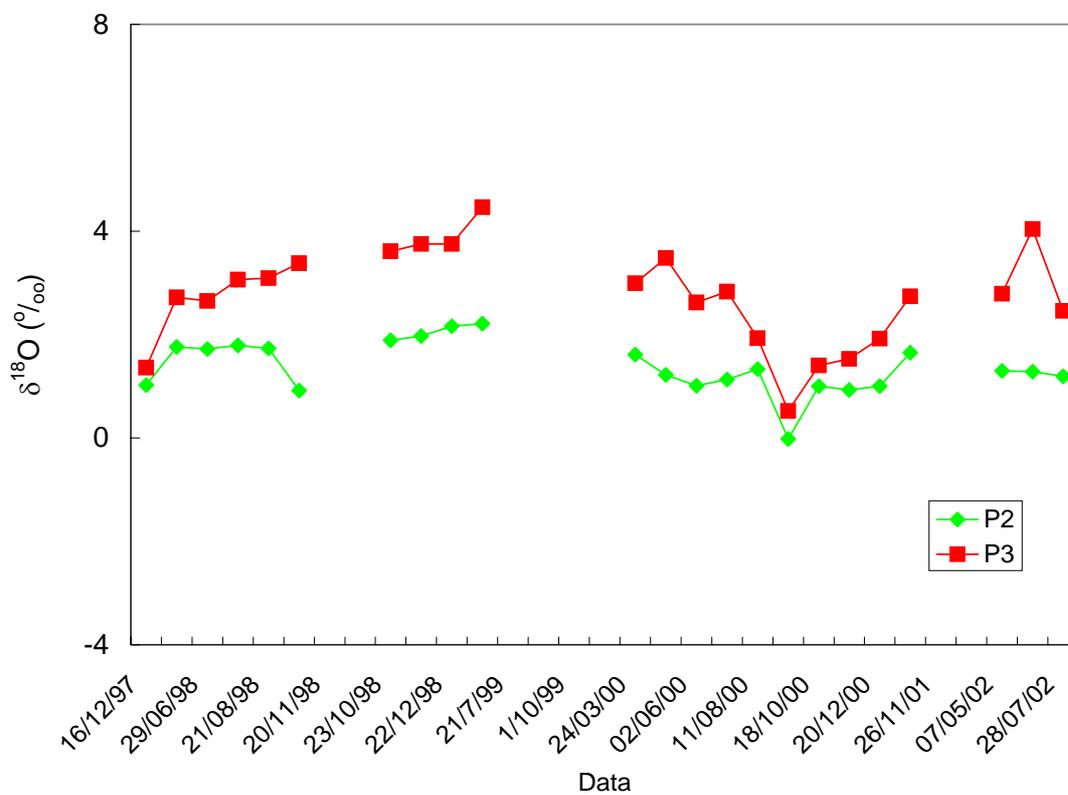
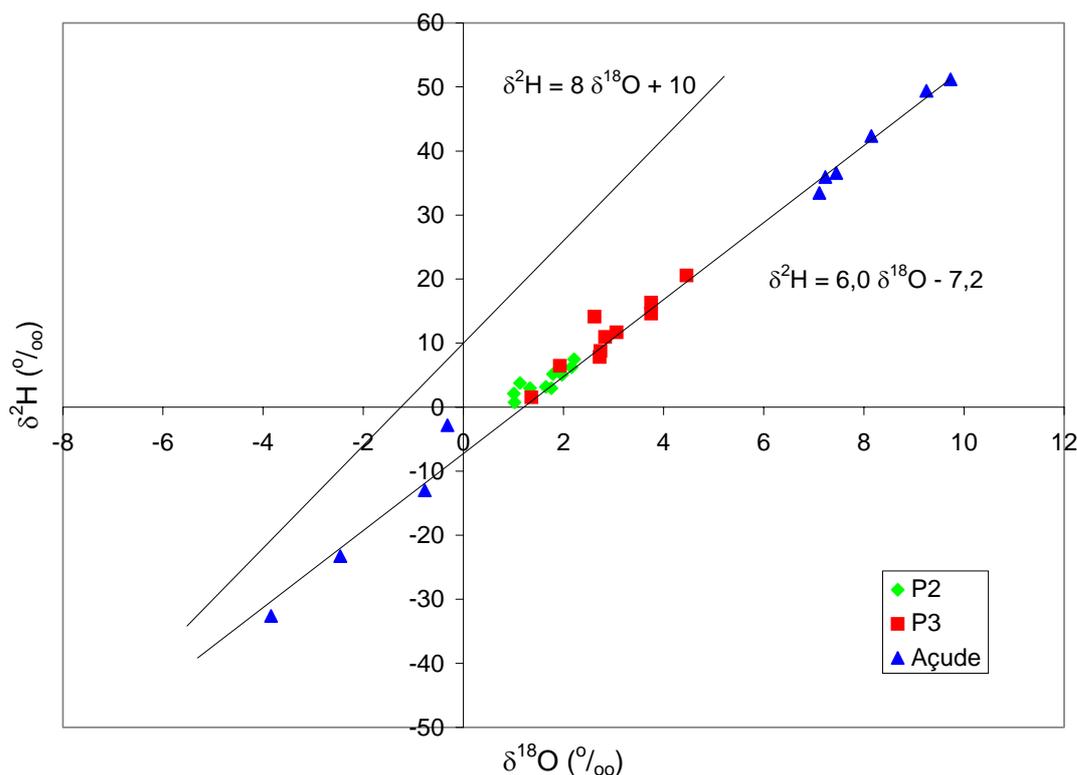


Figura 7 - Variação do oxigênio-18 com o tempo nos poços P2 e P3 em Juá.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MANOEL FILHO, J. 1997 Água Subterrânea: Histórico e importância. In: **Hidrogeologia - Conceitos e Aplicações**, capítulo 1, Fortaleza CPRM, LABHID-UFPE. P. 3-12.
- [2] SILVA, C.M.S.V.; SANTIAGO, M.M.F.; DEMÉTRIO, J.G.A.; VASCONCELOS, M.B. & FEITOSA, F.A.C. 2003 Perfis verticais de temperatura no estudo de conexões entre açude e poços no cristalino. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2003.
- [3] CACEGE – Companhia de Água e Esgoto do Ceará – 1994, Captação de Juá/Irauçuba – Relatório de Definição de Manancial, Programa de Saneamento Rural, Relatório técnico interno, 28p.
- [4] SOUSA FILHO, O.A. de - 2002 - Integração de técnicas de geologia estrutural, geotécnica e geoprocessamento em aquíferos fissurais, Irauçuba-CE, nordeste do Brasil. In: 32^o IAH e 6^o ALHSUD, Mar del Plata, Argentina. P. 1080-1089.
- [5] CRAIG, H. 1961 Isotopic variations in meteoric waters. Science vol. 133, p. 1702.
- [6] CRAIG, H. 1961 Standard for reporting concentrations of deuterium and oxygen-18 in natural water. Science, vol. 133, p. 1833-1834.
- [7] SILVA, C.M.S.V.; VASCONCELOS, M.B. & SANTIAGO, M.M.F. 2001 Recarga e datação de poços no cristalino. In: IV Simpósio de Hidrogeologia do Nordeste, Recife. Anais do IV Simpósio de Hidrogeologia do Nordeste.